



#9 (37), 2018 część 1

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe

(Warszawa, Polska)

Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w

Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze

wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo

publikowane jest w języku polskim, angielskim,

niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego
miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz
czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej
czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet
Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michałak (Uniwersytet
Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet
Jagielloński)

Kolub Frennen (University of
Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet
Warszawski)

#9 (37), 2018 part 1

East European Scientific Journal

(Warsaw, Poland)

The journal is registered and published in Poland. The
journal is registered and published in Poland.

Articles in all spheres of sciences are published in the

journal. Journal is published in **English, German, Polish**
and Russian.

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the
journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet
Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michałak (Uniwersytet
Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet
Jagielloński)

Kolub Frennen (University of
Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet
Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
**Peter Clarkwood(University College
London)**
Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)
**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**
**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**
Kehan Schreiner(Hebrew University)
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**
**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**
**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**
Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

**Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie
85/21, 02-001 Warszawa, Polska»**

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo
Naukowe**

**Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001
Warszawa, Polska**

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
**Peter Clarkwood(University College
London)**
Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)
**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**
**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**
Kehan Schreiner(Hebrew University)
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**
**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**
**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-
001 Warsaw, Poland»**

East European Scientific Journal

**Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Po-
land**

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Намінат О.С.

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ТОЧНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА..... 4

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Rahimov B.N., Xotamov A., Gubenko V.A., Berdiyev A.A.

ANTENNA SYSTEM FOR MONITORING RADIOFREQUENCY SPECTRUM 13

Ботвіновська С.І.

АНАЛІЗ ТОПОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СІТОК ПРИ ДИСКРЕТНОМУ ГЕОМЕТРИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ..... 17

Боровик Ю.М.,

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОПОРУ ШУНТУЮЧИХ РЕАКТОРІВ НА СТРУМ ПІДЖИВЛЕННЯ В РЕЖИМІ ОАПВ 25

Ганзюк А.Л., Олександренко В.П.

ЗАХИСТ ПОВЕРХОНЬ НОМІНАЛЬНО-НЕРУХОМОГО КОНТАТУ ДЕТАЛЕЙ В УМОВАХ МАЛОАМПЛІТУДНОГО ФРЕТИНГУ СПЛАВАМИ НА ОСНОВІ Bi-Sn-Pb-Cd..... 28

Стьожка В.В.

ПІДВИЩЕННЯ КОЛІЄСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ, МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ 33

Скропишева О.В., Гнідець В.П., Кулігін М.Л.

ЯКІСНІ ОЦІНКИ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОЗЧИНІВ КАМЕДЕЙ ТА КСАНТАНУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ НИЗЬКОКАЛОРІЙНИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ..... 36

Каганов В.И., Фам Ки

ДВА МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА НЕЛИНЕЙНОСТИ СВЧ ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ 41

Кенсицький О.Г., Крамарський В.А., Кобзар К.О., Хвалін Д.І.

НАГРІВ КІНЦЕВОЇ ЗОНИ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ ІІ КОНСТРУКТИВНОГО ВИКОНАННЯ 46

Минеев С.П., Смоленов С.Н., Беликов И.Б., Самопаленко П.М.

О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ ТУШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПОЖАРОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ..... 52

Стукалов А. А., Шатров А.К.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВСТАВОК В ЭЛЕМЕНТЫ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ 58

Фик О.І.

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ХАОТИЧНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ СИМВОЛІЧНОЇ ДИНАМІКИ..... 60

Shuklin G.V.

METHODS OF MATHEMATICAL MANAGING THEORY IN THE FORECAST CYBER ATTACKS IN AN EXAMPLE FORECAST OF DYNAMIC PRICE SHARE AND ON A STOCK MARKET 69

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Намінат О.С.

асистент кафедри геодезії,

Державний вищий навчальний заклад

«Криворізький національний університет»

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ТОЧНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА

Анотація. З метою підвищення ефективності зйомки та моніторингу інженерних споруд можна використовувати цифрові моделі цього об'єкту, створені на основі лазерно-скануючих систем. Маючи дві та більше таких моделей, зроблених у різний час з певним періодом, можна вести моніторинг цього об'єкту. Для отримання характеристик об'єкта у часі необхідно знати з якою точністю можна отримати данні моделі. Для підвищення точносних характеристик об'єкта необхідно знати, які фактори негативно впливають на точність результатів сканування і володіти можливостями впливу по зменшенню цих похибок. Досягнення цієї мети призведе до розуміння поведінки і отримання характеристик об'єктів в галузі інженерної геодезії, що пов'язана з проблемою деформаційного аналізу.

Ключові слова: моніторинг, точність сканування, наземний лазерний сканер, джерела похибок, деформація, лінійна споруда.

Keywords: monitoring, accuracy of scanning, terrestrial laser scanner, sources of errors, deformation, linear construction.

Мета дослідження. Виявити джерела похибок, що впливають на кінцеві результати сканування. Розробити заходи, щодо ослаблення їх впливу для вирішення задач на основі просторових даних, що отримані наземними сканерами.

Об'єкт та методи дослідження. Виходячи із загального аналізу вимірювальних блоків наземних лазерних сканерів, можна сказати, що на точність визначення координат точок лазерних відображень впливають такі основні чинники [1]:

- характеристики інструмента;
- характеристики об'єкта вимірювання;
- навколишнє середовище, в якому проводяться вимірювання.

Для обліку зазначених факторів і їх кількісної оцінки існує два основні підходи. Сутність першого полягає в роздільному оцінюванні впливу кожного фактора. Другий підхід заснований на комплексному обліку впливу всіх факторів [2].

За допомогою першого підходу можливо усунути основну (більшу) частину випадкових і систематичних помилок з результатів вимірювання НЛС. Даний спосіб відрізняється найбільшою простотою в розрахунках і реалізації, однак вимагає розробки або адаптації існуючих методик виконання тестових вимірювань стосовно до НЛС.

В комплексному підході використовують різні поліноміальні моделі розрахунку, які дозволяють усунути всі типи помилок. Даний підхід є найбільш універсальним, однак відрізняється складністю процесу розрахунку, що вимагає високої кваліфікації виконавця робіт не тільки в області геодезичних дисциплін, а й таких, як фізика, оптика, математика і статистика.

Сукупність факторів, що впливають, на НЛС описано і класифіковано в розділі 2.3.

Зважаючи на конструктивні і фізичні можливості, будь-який лазерний випромінювач вимагає певної стабільної робочої температури дії, тому виробники НЛС постачають лазери системою кліматичного контролю, що дозволяє підтримувати робочу температуру всередині приладу [3]. Очевидно, що з моменту першого включення лазерного сканера необхідно почекати деякий час, в процесі якого відбудеться прогрів блоку лазерного далекоміра до робочої температури. Дана процедура особливо важлива при виконанні робіт, пов'язаних з досягненням найвищої точності вимірювань НЛС, однак, ніяких рекомендацій від виробників даних приладів не надходить, звідси виникає актуальність визначення залежності стабільності роботи приладу від температури блоку лазерного далекоміра [3, 4].

Для більш глибокого дослідження, та визначення похибок, які найбільш впливають на вимірювання блоку лазерного світлодалекоміра, необхідно провести аналіз процесу поширення випромінювання в просторі, а також дати поняття відбивної здатності (альbedo) і його властивостей для різних поверхонь [5].

Альbedo (лат. Albus - білий) - характеристика відбивної здатності поверхні [5]. Від величини альbedo залежить яскравість, насиченість, світлотіньове відношення та інші колористичні властивості матеріалів [6,7]. Умовно можна виділити три види відображень (розсіювання) (рисунк 1) [8]:

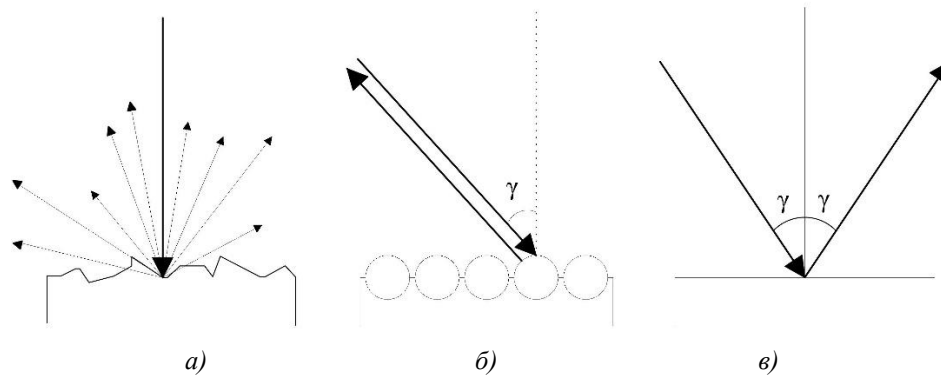


Рис. 1 Види відбиття від різних поверхонь:

а) дифузне відбиття; б) дзеркальне відбиття; в) повне відбиття.

Очевидно, що для НЛС основним типом відображень є дифузне розсіювання (відображення), закон Ламберта. В дзеркальному відображенні - зокрема, для коротких відстаней, сигнал дуже високої інтенсивності повертається на приймач, і це може привести до грубих погрешностей виміру відстаней до об'єкту [7].

Найбільш близькі до дифузного відбиття мають матові шорсткі поверхні гіпсу, окису магнію, сірчаноокислого барію і ін.; з мутних середовищ - деякі типи хмар і молочного скла; серед самосвітних випромінювачів - абсолютно чорне тіло, порошкоподібні люмінофори. Сильне відхилення від закону Ламберта спостерігається для полірованих поверхонь, так як для них випромінювання при куті ϕ буде більшим, ніж в напрямку, нормальному до поверхні.

Приміром, відповідно до закону Ламберта, інтенсивність відбитого сигналу зменшиться при куті падіння 45° на 70% і відповідно з цим зменшиться дальність дії НЛС:

$$l_{45^\circ} = l_0 \cos \phi 45^\circ = 0,71 \quad (1)$$

Аналіз відбивної здатності для монохроматичного випромінювання і таких природних для інженерних об'єктів матеріалів, як бетон, метал, дерево,

$$f_{\text{вих}}(t) = \int_{-\Delta\phi}^{\Delta\phi} \int_{-\Delta\nu}^{\Delta\nu} \left[f_{\text{вих}} \left(t - \frac{2D(\phi,\nu)}{c} \right) K_{\text{отр}}(\phi,\nu) \psi(\phi,\nu) \right] d\phi \cdot d\nu + \eta(t) \quad (2)$$

де $f_{\text{вих}}(t)$ – функція вихідного сигналу; $D(\phi,\nu)$ – функція, що описує зміну відстані від НЛС до ТЛВ (точки лазерних відображень); $K_{\text{отр}}(\phi,\nu)$ – функція, що характеризує коефіцієнт відбиття сигналу лазеру від різних ТЛВ; $\Psi(\phi,\nu)$ – функція, що описує розподіл сигналу у просторі, в тому числі величину розбіжності лазерного променя(t) – функція, яка характеризує інтерференцію (шуми).

Використовуючи формулу (2), можливо виконати наближене моделювання загального процесу поширення лазерного променя НЛС і вивчити вплив деяких характерних факторів. Однак у реальних умовах зробити однозначні висновки про точність вимірювань НЛС того чи іншого об'єкта не надається можливим через неможливість врахування всіх факторів, що мають вплив [11].

Не менш важливим фактором при необхідності досягненні більш достовірних даних НЛС буде його калібрування. Зазвичай користувач НЛС та іншим геодезичним обладнанням, посиляється на документи метрологічних лабораторій, тобто точність

показав, що в залежності від довжини хвилі лазерного променя і кольору об'єкта формується ставлення спектрального коефіцієнта відбиття між прийнятим і відправленим сигналом лазерного променя. Шорсткість поверхні і кут падіння при цьому не розглядаються; важливо, яким чином певний колір (альbedo) об'єкта поглинає світло. Поглинальна здатність значною мірою залежить від стану поверхні. Нерівності поверхні приводили до збільшення поглинання. А поліровка зменшувала поглинання випромінювання і збільшувала відбивну здатність матеріалу [3]. В даному випадку поглинальна здатність досліджуваних матеріалів розташована в порядку: бетон, дерево, метал і зменшується в цьому ряді. Звідси впливає висновок, що з досліджуваних матеріалів метал має найвищий коефіцієнт відбиття і, як наслідок, знижується похибка вимірювання відстаней до подібних об'єктів [9, 10].

Поширення лазерного імпульсу блоку світлодалекоміра НЛС в просторі є дуже складним процесом, залежним від безлічі факторів. У загальному вигляді функція вхідного сигналу може бути описана відомою формулою [2]:

приладу та його допустима погрешність написана в свідоцтві про перевірку. Але ці цифри близькі до максимально допустимих характеристик, і виконавши просту калібровку приладу, можна значно підвищити точність при виробництві робіт. Тому автором запропоновано методику з знаходження та використання поправки до результатів вимірювань.

Загалом в НЛС використовується полярна система вимірювання та має схожість з тахеометром. НЛС також має три вісі: вертикальна вісь, горизонтальна вісь та оптична вісь (лазер). Вертикальна вісь забезпечує поворот в горизонті інструменту для вимірювань горизонтальних кутів. Але через механічні з'єднання приладу все одно виникають похибки осей. Крім того, існують так звані розгойдування вертикальної осі і коливання горизонтальної осі, викликаного варіаціями осей під час поворотів. Виявлення та усунення помилок осей мають важливе значення для вимірювань, вони впливають на кутові вимірювання. Також велику роль відігра-

ють компенсатори, що послаблюють вплив не ідеального горизонтування приладу. При ідеальних умовах виготовлення НЛС виробником горизонтальна вісь повинна бути перпендикулярна вертикальній ($hA \perp vA$) та вісь лазера перпендикулярна до горизонтальної осі ($lA \perp vA$), вісі зображені на рисунку 2. Недотримання цих значень призведуть до появи наступних помилок (рис. 3):

- помилка осі нахилу (i). Це кут між віссю рухомого дзеркала та нормаллю, що проходить через вісь обертання сканера;
- колімаційна помилка (c). Це кут між оптичною і геометричною віссю;
- помилка ексцентриситету (e). Це лінійна величина, яка є радіусом кола точки М, що відповідає центру перетину осей сканера. Ця похибка виникає за рахунок обертання верхньої частини сканера [12].

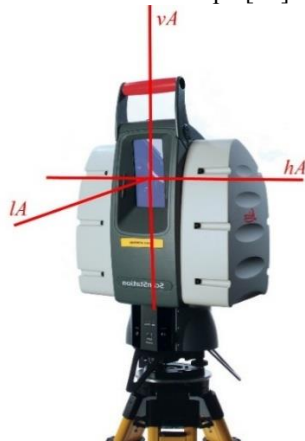


Рис. 2 Осі наземного лазерного сканеру.

Поправка f_a за вплив помилок (c) і (i), як функції кута нахилу ζ , може бути описана формулою 2.

$$f_a = \arctan \left(\frac{\cos i \cdot \tan c}{\sin \zeta} + \frac{\sin i}{\tan \zeta} \right) \quad (2)$$

Поправка f_b за вплив помилку (e) напрямку ексцентриситету осі дорівнює:

$$f_b = \frac{e}{s} \quad (3)$$

де: s – виміряна відстань до об'єкту [13].

Сума цих величин і буде загальною похибкою за вплив осей НЛС.

$$f = f_a + f_b = \arctan \left(\frac{\cos i \cdot \tan c}{\sin \zeta} + \frac{\sin i}{\tan \zeta} \right) + \frac{e}{s} \quad (4)$$

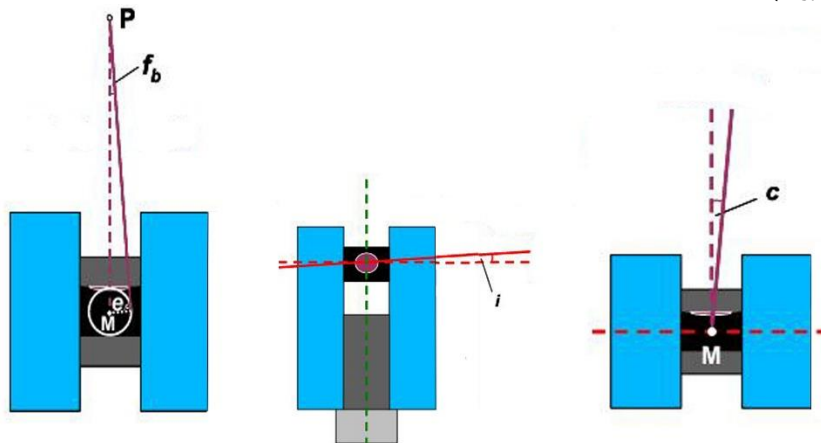


Рис. 3 Похибки осей НЛС

Оскільки значення f та ζ можна визначити за допомогою рівнянь наведених у [12], вищенаведене рівняння містить три невідомі параметри, а саме (c), (i) та (e). Таким чином вирішення цього рівняння математично обґрунтує похибки осей лазера. Для теоретичного підтвердження цих формул необхідно вибрати об'єкт більш ніж з трьома марками для сканування, щоб створити достатньо надійну конфігурацію для визначення похибок осей використовуючи метод найменших квадратів. Так в ході теоретичного експерименту де використовувався сканер Z+F Imager 5003, були встановлені наступні помилки осей НЛС: помилка осі нахилу (i)=-0,1"

(стандартне відхилення $\sigma=0,02''$); колімаційна помилка (c)=0,12" (стандартне відхилення $\sigma=0,01''$); помилка ексцентриситету (e)=1,17 мм (стандартне відхилення $\sigma=0,26$ мм) [14]. Згідно характеристикам та дослідженням точності цього сканера він здатен вимірювати відстань з точністю $\pm 3,1$ мм/10м, роздільна здатність сканування по вертикалі 1'05", по горизонталі 36", точність вимірювання кутів 25" [15].

У порівнянні з помилками осей тахеометра, помилки осей НЛС в декілька разів більше. Ці помилки викликані в основному за рахунок обмежень при механічному виготовленні. Вісі не виготовляються в якості високоточних осей і це пов'язано в

першу чергу з економічних причин. Проте, виявлення помилок осей дозволяє вводити поправки в процесі пост-обробки даних лазерного сканування. Крім того, вплив помилок осей при вимірах зведено до мінімуму. Таким чином при врахуванні помилок осей сканера можна не на багато але підвищити точність отримуваної моделі, і отримати якісніші дані для вирішення різнобічних задач.

Що стосується вимірювання кутів наземним лазерним сканером то їх точність вимірювання впливає на точність вимірювання всієї системи лазерного сканування в цілому. Систему вимірювання кута можна поділити наступним чином: горизонтальні кутові вимірювання, та вертикальні кутові вимірювання.

Результати досліджень та обговорення. На відміну від тахеометра, наземний лазерний сканер не може безпосередньо вимірювати кути і відстані до заздалегідь визначеної цілі. Для більшості наземних лазерних сканерів, лазерний промінь не може бути скоригований на ціль. Таким чином, кутові вимірювання повинні бути отримані з цільових показників, які використовуються в сканерній декартовій системі координат. Загалом, для проведення

цього експерименту з досліджень кутових вимірювань були використані марки-мішені відомої форми. Центральні точки марок були скориговані та розраховані. Нарешті, полярні координати були отримані з декартових координат, що відповідали центру марки. Проте, слід зазначити, що якість визначення центру марки залежить, від багатьох факторів. Тому, дослідження системи вимірювання кута наземного лазерного сканера, з точки зору точності, повинні розглядатися як наближені. Набір вимірювань проводився сканером Leica ScanStation 2.

Оскільки НЛС не можливо точно сфокусувати на одну й ту саму точку, було прийнято рішення використовувати цілі (рис. 4а), з яких можна отримати контрольні точки. Кулі були встановлені в якості еталонних цілей і сканувались за допомогою Leica Scan Station 2. Відстань між сканером і опорною ціллю становила близько 15 м. Після цього центральна точка сфери (контрольна точка) визначалась, як центр вписаного шару відомої форми у хмарину точок в автоматичному режимі ПЗ (рис. 4б).

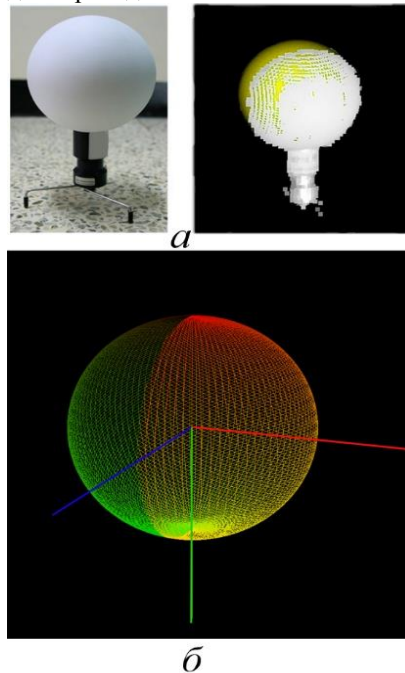


Рис. 4 Сфера, що сканувалась

Для дослідження точності вимірювання кута, проведений польовий експеримент, де марки-відбивачі встановлено по колу від центру стояння сканеру під різними кутами (рис. 5). Марки представляли собою опорні цілі, їх положення заздалегідь визначено тахеометром South NTS-352R, що має точність вимірювання кутів 2". Відстань від марок до сканеру складала близько 8,5 м. Координати контрольних цільових показників були виміряні за допомогою тахеометра. Після вимірів тахеометром, точність «еталонного» центру марки становила

менше 1 мм для горизонтального положення і висоти. Координати опорних цілей були використані в якості номінальних значень для подальшого розрахунку. Після чого було проведено 10 сканувань, з максимальним кроком сканування роздільної здатності по горизонталі та вертикалі. Отримана в результаті сканувань хмара 3D-точок була використана для подальших обчислень. Полярні координати, такі як кути і відстані були виведені з декартових координат центру точок марок.

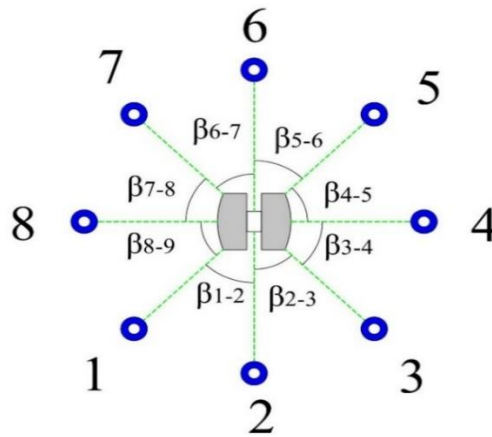


Рис. 5 Схема сканування контрольних марок.

Для розрахунку точності горизонтальних кутів вимірювань, кути $\beta_{i,n}$ були виведені з 3D-хмари точок відповідно до формули 5.

$$\beta_{i,n} = \arctan\left(\frac{\Delta x_i}{\Delta y_i}\right) - \arctan\left(\frac{\Delta x_n}{\Delta y_n}\right) \quad (5)$$

де i, n – номери марок

Горизонтальна точність вимірювання кута визначається як різниця між вимірюваними кутами $\beta_{i,n}$ і номінальними значеннями на основі еталонних

координат, що були виміряні тахеометром. Рисунок 6 являє собою вид збоку сканера під час установки. І, нарешті, вертикальний кут γ_i розраховувався за умови якісного горизонтування сканера за формулою 6.

$$\gamma_i = \arcsin\left(\frac{\Delta z_i}{\sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2 + \Delta z_i^2}}\right) \quad (6)$$

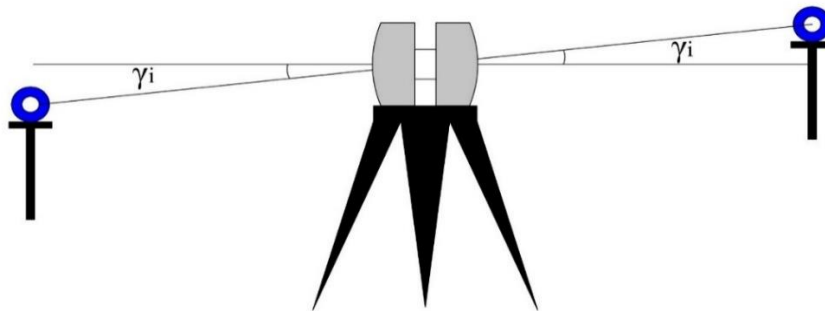


Рис. 6 Схема вимірювань вертикального кута

Після вимірювань, зроблені розрахунки, які представлені в таблиці 1, результати визначення точності вимірювання кута для Leica Scanstation 2. Стандартні відхилення горизонтального кута σ_r і вертикального σ_v , які відповідають точності вимі-

рювання кута. Дані відповідають одному скануванню восьми опорних цілей. Кутіві похибки позначені як m_r і m_v і відповідають середнім значенням абсолютних значень кутівих зсувів для кожної опорної цілі.

Таблиця 1

Кутові похибки сканера				
№ сканування	σ_v , "	σ_r , "	m_v , "	m_r , "
1	5,8	3,2	$\pm 5,5$	$\pm 4,0$
2	7,3	5,9	$\pm 7,4$	$\pm 5,9$
3	6,2	6,8	$\pm 5,1$	$\pm 6,0$
4	2,8	5,3	$\pm 4,6$	$\pm 4,5$
5	5,9	5,9	$\pm 6,1$	$\pm 5,6$
6	6,3	6,3	$\pm 6,8$	$\pm 6,4$
7	5,4	5,1	$\pm 7,3$	$\pm 5,7$
8	5,9	4,3	$\pm 6,2$	$\pm 6,6$
9	6,5	4,5	$\pm 7,5$	$\pm 4,9$
10	6,6	5,1	$\pm 6,9$	$\pm 5,8$
середнє	5,9	5,2	6,3	5,5

Для НЛС, можуть використовуватися марки різноманітної форми для орієнтування і зшивки сканів. Також можуть використовуватися, як цілі сфе-

ричної форми, так і плоскої. Як правило, кожен виробник для своїх наземних лазерних сканерів рекомендує свої власні марки.

З точки зору сканування, сферичні марки, є кращими в якості еталонних цілей замість плоских цілей. Регулювання центральної точки для плоских цілей, як правило, визначається на підставі значення інтенсивності відбитого лазерного променя [16]. Крім того, сфера-ціль виглядає ідентично з різними точками сканування. Крім того, центральна її точка є похідною від геометричної інформації 3D-хмари точок. Проте, кут падіння лазерного променя сильно зменшується у напрямку до межі сфери. Низька здатність вимагає більшого розміру еталонних марок-цілей. Таким чином, число точок є вирішальним фактором для моделювання еталонних цілей і їх кількість повинна розглядатися в якості додаткового параметра для вибору розміру цілей [17].

Число точок, які представляють собою сферу-ціль після сканування за допомогою наземного лазерного сканера сильно корелюють з відстанню від сканера до цілі [18]. Логічно припустити, що залежність кількості точок від відстані буде прямолінійною. Для простоти розрахунків візьмемо марку

правильної геометричної форми з однаковими сторонами і розташовану як перпендикулярна площина відносно осі лазера. Тоді математично це буде виглядати так:

$$n = \left(\frac{a}{\sin \alpha \cdot S} + 1 \right)^2 \quad (7)$$

де: n – кількість точок, що потрапить на поверхню марки; a – розмір марки; α – кутовий крок сканування; S – відстань до об'єкту.

Для підтвердження цієї залежності був виконаний польовий експеримент, де одна й та ж сама марка-мішень сканувалась на різних відстанях з однакою розподільчою здатністю. Отриманий результат представлений на рисунку 7 являє собою залежність між числом точок і відстанню до сканера. Сфера-мішень була відсканована НЛС Leica ScanStation 2 з роздільною здатністю 45". Стандартні відхилення, що були розраховані за відомим діаметром з 3D-хмари точок відображені на рисунку 8. Марка пересувалась з 5 до 140 метрів і кожні 5 метрів сканувалась.

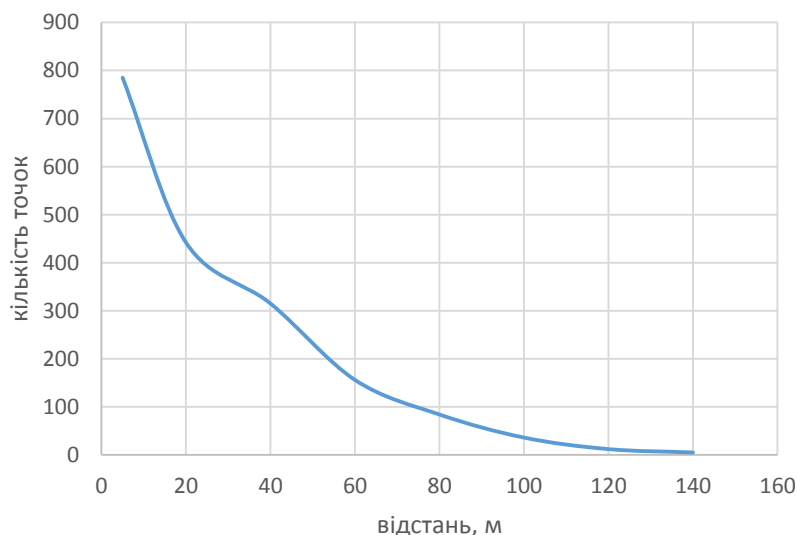


Рис. 7 Залежність кількості точок від відстані

При скануванні використано марку діаметром 15 см. Проте, слід зазначити, що стандартне відхилення (1σ) збільшується до 18 мм.

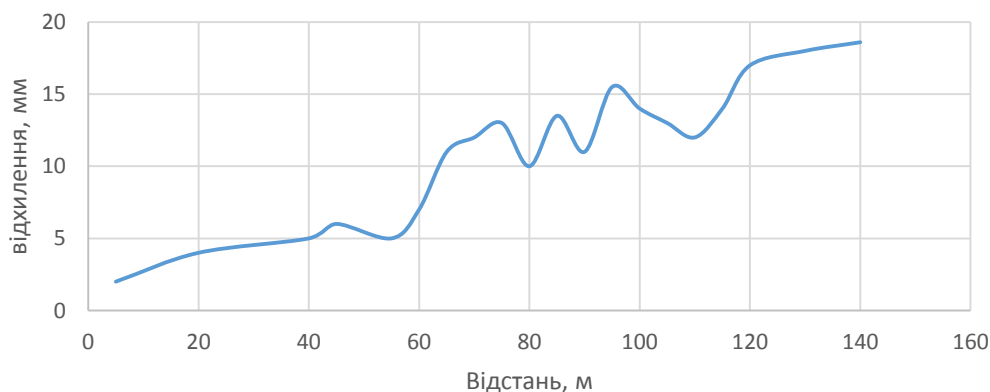


Рис. 8 Стандартне відхилення

З рисунку 8 видно, що відхилення значно зростає після 60 метрів, і стрімко росте після 110 метрів, виходячі з цього рекомендується при точних спостереженнях, таких як визначення деформацій на лінійних спорудах, вести сканування на відстанях до 60 метрів.

Можна зробити висновок, що сферична ціль, якісніша при виявленні помилок під час побудов,

зшиття сканів. Але для досягнення якісних результатів рекомендовано використовувати відстань сканування 50-60 метрів.

Залежність отриманих даних від тривалості прогріву сканеру була доведена в ході експерименту. Для його виконання було розбито по колу чотири базиси, які були розташовані через 90 градусів відносно двох сусідніх, схема полігону показана на рисунку 9.

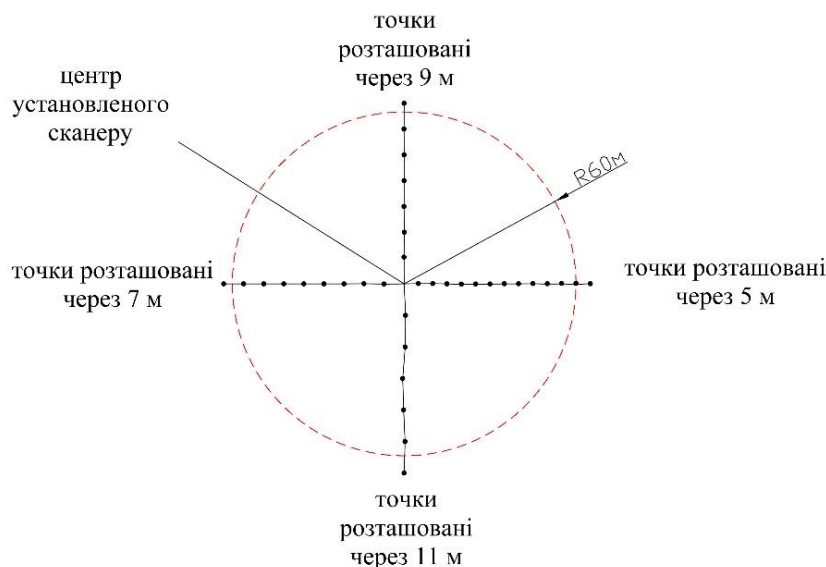


Рис. 9 Схема полігону для дослідження

Так як вертикальне поле зору сканера, на якому проводились дослідження 270 градусів, було встановлено, що в залежності від висоти встановлення, яка у більшості випадків становить від 1,5 до 2,0 метрів діаметр «мертвої» зони від центра сканера становить 3-4 метра. Керуючись цим було обрано відстань на якій закріплений перший репер – 5 метрів. Полігон для досліджень має чотири профільні лінії, так на першій репері закріплені через 5 метрів, на другій через 7, на третій через 9 і на четвертій через 11. У попередніх розділах роботи встановлено, що оптимальною відстанню для знімання об'єкту при визначенні його просторового положення, найбільше підходить довжина променя 50-70 метрів. Саме тому репері на профільній лінії закріплені на максимальній відстані приблизно рівній 60-ти метрам.

Планові координати кожного репера встановлені двічі: за допомогою тахеометра South NTS-352R та за допомогою сканера Leica ScanStation 2. Висотні відмітки визначались також двічі за допомогою вище згаданого сканера та нівеліра Topcon AT-G2. Результати отриманих досліджень представлені нижче у вигляді порівняльних таблиць.

Так як представлення всіх даних на аркуші являє собою дуже громіздку форму вирішено представити дані по двом лініям на котрих репері закладені на мінімальній і максимальних відстанях один від одного, відповідно через 5 та 11 метрів. Отримані координати представлені в таблицях 2 та 3.

Проаналізувавши складені графіки видно, що після прогріву сканеру 15-20 хвилин лінійна крива

по цих показникам стає близькою до горизонтального положення, що свідчить про менший діапазон розходження результатів. Так лінійна крива, яка характеризує показники отриманих даних після прогріву наземного лазерного сканеру в 20 хвилин, виділена потовщеною лінією для швидшого її знаходження та більш зручного читання графіку.

Висновки.

Зроблений аналіз факторів, які мають вплив на кінцеві результати даних, що отримані з наземного лазерного сканування та запропоновані дії по зменшенню їх впливу. Розраховані орієнтовні кутові помилки НЛС, стандартні відхилення зроблених вимірів, що дозволило виявити оптимальне плече сканування для моніторингу деформаційних процесів лінійних споруд, яке склало 40-60 м. Експериментально встановлено залежність прогріву сканеру на точність вимірювань. Дано рекомендації з необхідності прогріву сканера перед початком сканування об'єкту протягом 15-20 хвилин. Виходячи з аналізу факторів, що впливають на точність вимірів НЛС і їх процесів виникнення, а також враховуючи складність процесу математичного моделювання лазерного сканування конкретних інженерних об'єктів, пропонується для досягнення цілей і завдань даної роботи в подальшому виконати теоретичну розробку методики експериментальної оцінки точності НЛС для кожного фактору, а також зробити на основі даної методики практичні дослідження з метою виявлення закономірностей впливу того чи іншого фактору на точність одержуваних вимірів НЛС.

Таблиця 2

Координати реперів профільної лінії закладеної через 11 метрів

№ репера	II клас нів-ння	тахеометр		сканер без прогріву			5 хвилин		
		X	Y	H	X	Y	H	X	Y
1	100.959	548.014	946.582	100.959	548.010	946.580	100.959	548.010	946.580
2	101.023	526.017	947.071	101.013	526.008	947.061	947.062	947.062	947.064
3	101.156	526.003	946.936	101.164	526.012	946.944	946.944	946.943	946.930
4	101.236	515.018	946.084	101.242	515.025	946.079	946.091	946.090	946.089
5	101.695	504.013	946.390	101.686	504.007	946.397	946.382	946.383	946.396
6	101.743	493.012	946.891	101.748	493.017	946.888	946.886	946.882	946.884
7	101.888	482.014	946.582	101.881	482.017	946.580	946.575	946.590	946.578

Продовження таблиці 2

№ репера	10 хвилин			15 хвилин			20 хвилин		
	H	X	Y	H	X	Y	H	X	Y
1	100.959	548.01	946.58	100.959	548.01	946.58	100.959	548.01	946.58
2	947.064	947.066	947.065	947.076	947.067	947.067	947.076	947.067	947.073
3	946.942	946.933	946.943	946.932	946.94	946.94	946.932	946.938	946.932
4	946.088	946.088	946.089	946.088	946.079	946.089	946.085	946.088	946.081
5	946.385	946.395	946.385	946.395	946.384	946.392	946.386	946.387	946.393
6	946.896	946.885	946.895	946.889	946.894	946.887	946.893	946.887	946.893
7	946.578	946.587	946.578	946.579	946.58	946.579	946.58	946.584	946.579

Таблиця 3

Координати реперів профільної лінії закладеної через 5 метрів

№ репера	II клас нів-ння	тахеометр		сканер без прогріву			5 хвилин		
		X	Y	H	X	Y	H	X	Y
1	100.959	548.014	946.582	100.959	548.014	946.582	100.959	548.014	946.582
2	101.345	548.102	951.582	101.356	548.096	951.574	101.355	548.111	951.574
3	101.325	548.083	956.582	101.316	548.09	956.589	101.317	548.076	956.578
4	101.456	548.014	961.582	101.462	548.023	961.586	101.450	548.022	961.573
5	101.763	547.906	966.582	101.754	547.900	966.574	101.756	547.911	966.588
6	101.365	547.977	971.611	101.358	547.970	971.605	101.373	547.984	971.621
7	101.588	547.971	976.582	101.58	547.980	976.577	101.581	547.977	976.577
8	101.366	548.022	981.582	101.373	548.014	981.589	101.373	548.016	981.572
9	101.954	548.005	986.582	101.961	547.998	986.576	101.960	547.996	986.573
10	101.327	548.039	991.582	101.319	548.03	991.574	101.321	548.033	991.574
11	101.472	547.968	996.582	101.465	547.963	996.574	101.477	547.974	996.587
12	101.354	548.014	1001.582	101.364	548.006	1001.589	101.362	548.021	1001.588
13	101.675	547.901	1006.582	101.666	547.912	1006.573	101.681	547.894	1006.576
14	101.547	548.072	1011.629	101.539	548.062	1011.620	101.537	548.066	1011.621

№ репера	10 хвилин			15 хвилин			20 хвилин		
	Н	Х	У	Н	Х	У	Н	Х	У
1	100.959	548.014	946.582	100.959	548.014	946.582	100.959	548.014	946.582
2	101.351	548.094	951.576	101.350	548.095	951.586	101.349	548.100	951.585
3	101.331	548.077	956.574	101.320	548.079	956.576	101.319	548.078	956.577
4	101.463	548.018	961.574	101.462	548.021	961.577	101.460	548.017	961.579
5	101.769	547.910	966.577	101.759	547.911	966.574	101.758	547.911	966.578
6	101.357	547.983	971.615	101.359	547.983	971.617	101.367	547.982	971.616
7	101.582	547.975	976.577	101.581	547.976	976.575	101.583	547.975	976.580
8	101.360	548.017	981.574	101.370	548.016	981.578	101.373	548.017	981.578
9	101.958	548.000	986.573	101.959	547.998	986.577	101.956	547.998	986.577
10	101.321	548.033	991.577	101.322	548.034	991.576	101.323	548.034	991.579
11	101.480	547.963	996.589	101.475	547.964	996.587	101.476	547.965	996.588
12	101.358	548.018	1001.586	101.350	548.019	1001.589	101.361	548.019	1001.587
13	101.671	547.894	1006.574	101.671	547.898	1006.578	101.671	547.898	1006.580
14	101.541	548.066	1011.624	101.541	548.076	1011.624	101.542	548.068	1011.624

Список використаних джерел

1. Бруннер В. Справочник по лазерной технике / В. Бруннер // – М.: Энергоатомиздат, 1991.—544 с.
2. Бломберген Н. Нелинейная оптика / Н. Бломберген // – пер. с англ. -М.:Мир, 1966.-286 с.
3. Середович В.А. Наземное лазерное сканирование./ монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова// – Новосибирск: СГГА,-2009.-С261.
4. Мезенов А.В. Термооптика твердотельных лазеров / А.В. Мезенов // – Л.: Машиностроение, 1986.- 199 с.
5. Великодский, Ю. И. Влияние альbedo и рельефа на закон распределения яркости по диску Луны / дис. канд. техн. наук/ Ю.И. Великодский // – Киев: ХНУ, 2002. - 136 с.
6. Кравцов Ю. А. Геометрическая оптика неоднородных сред / Ю.А. Кравцов, Ю. И. Орлов // – М.: Наука, 1980.-280 с.
7. Кринов Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований / монография / Е.Л. Кринов // – М.-Л.: АН СССР, 1947. -С. 89-132.
8. Ямбаев Х. К. Геодезическое инструментоведение. Практикум: учеб. пособие для вузов / Х. К. Ямбаев // – М.: Академический проект; Гаудеамус, 2011. -С. 476-502.
9. Исмару А. Модели распространения и рассеяния оптического излучения в случайно неоднородных средах / А. Исмару, И. П. Гуров //– М.: Медицина, 2006. - 136.
10. Исмару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах в 2 т. / А. Исмару// – М.: Мир, 1981.-281 с.
11. Тарасов Л. В. Четырнадцать лекций о лазерах / Л.В. Тарасов // – М.: Книжный дом «Либроком», 2011. - 174 с.
12. Stahlberg C. / Eine vektorielle Darstellung des Einflusses von Zielund Kippachsenfehler auf die Winkelmessung / C. Stahlberg // Zeitschrift fur Vermessungswesen 122 (5), pp. 225-235.
13. Deumlich F. / Instrumentenkunde der Vermessungstechnik / F. Deumlich, R. Staiger / 9 vollig neu bearbeitete und erweiterte auflage // Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 2002.
14. Neitzel F. / Investigation of axes errors of terrestrial laser scanners / F. Neitzel // Fifth International Symposium Turkish-German Joint Geodetic Days, Berlin, 2006.
15. Harald S. / Comparison of terrestrial laser scanning systems in industrial as-built-documentation applications/ S. Harald, P. Kersten Thomas // Optical 3-D Measurement Techniques VIII, Gruen/Kahmen (Eds.), Zurich, July 9-12, 2007, Vol. I, pp. 389-397.
16. Tsakiri M. Terrestrial laser scanning for deformation monitoring 3rd IAG / M. Tsakiri, D. Lichti, N. Pfeifer // – 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006
17. Luhmann T. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik / T. Luhmann // – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2003. Wichmann Verlag, Heidelberg.
18. Fritz Deumlich. Instrumentenkunde der Vermessungstechnik / Fritz Deumlich, Rudolf Staiger// - völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage 2002. Buch. IX, 426 S.: 814 s/w-Abbildungen, 75 s/w-Tabellen. Hardcover.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Rahimov B.N.

Doctor of science,

Tashkent University of information technologies,

Head of department of Teleradiobroadcasting systems.

Xotamov A.

Assistant of

Tashkent University of Information Technologies,

Samarkand branch

Gubenko V.A.

PhD in technics,

Tashkent University of information technologies

Berdiyev A.A.

Assistant of

Tashkent University of Information Technologies

ANTENNA SYSTEM FOR MONITORING RADIOFREQUENCY SPECTRUM АНТЕННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА

Summary. The article describes the developed antenna system for use in the measuring equipment intended for monitoring radio frequency air.

The article describes the developed antenna system for use in measuring equipment. It is intended for monitoring radio frequency air. A technical description of the antenna system is given. The results of measurements and their comparison with the results obtained with the help of standard antennas included in the measuring equipment are presented. This system increases the speed of the antenna complex monitoring radio twice.

Key words: Radiomonitoring, measuring antenna, log-periodic antenna, horn antenna, selsyn-sensor.

Аннотация: В статье приводится описание разработанной антенной системы для использования в составе измерительного оборудования. Оно предназначено для мониторинга радиочастотного эфира. Дается техническое описание антенной системы. Приводятся результаты измерений и их сравнение с результатами, полученными с помощью штатных антенн, входящих в состав измерительного оборудования. Данная система антенного комплекса увеличивает скорость радио мониторинга в два раза.

Ключевые слова: Радиомониторинг, измерительная антенна, логопериодическая антенна, рупорная антенна, сельсин-датчик.

Introduction

Currently, the active use of the electromagnetic resource associated with the development of systems and means of radio communication and radio engineering, as well as various electronic and electromechanical systems, leads to a significant appearance of an additional electromagnetic background, which complicates so uneasy state of interference situation and aggravation of problems of electromagnetic compatibility.

Particularly complex electromagnetic situation develops in large cities, where the main sources of electromagnetic fields of the radio frequency range are television and radio transmitting centers, mobile communication base stations and a huge variety of other systems and devices emitting electromagnetic fields.

For optimal allocation of radio frequency resources and avoidance of collisions in the joint operation of radio and electronic devices, it is necessary to constantly monitor the radio ether, effectively detecting interference problems of a local and general nature. From this point of view, it is necessary to use high-precision measuring equipment, which allows to solve the above-mentioned problem.

One of the main elements of such measuring equipment is the antenna. To a large extent, the antenna

determines the accuracy of the measurements and, accordingly, the reliability of their results.

There is a wide variety of measuring antennas included in the measurement systems used for monitoring radio ether. However, until now solutions are being sought for the creation of a universal antenna, which makes it possible to carry out measurements in a very wide frequency band with minimal errors. One possible solution to such a problem may be the creation of an antenna system consisting of several antennas operating in certain frequency ranges, but together overlapping the entire investigated radio-ether range.

This article proposes and considers an antenna system, which can be used as part of measuring equipment for monitoring radio air.

Main part.

The main task of radio monitoring is to study the radio ether in the frequency band in which all major radio systems and devices operate.

Under the research, we mean the effective emitter location of various radio sources, the measurement of their electromagnetic field levels and the analysis of the congestion of the radio-frequency spectrum.

Antenna, being the first and most important element of measuring equipment, should have the following technical characteristics:

- a wide band of operating frequencies;
- high stability of ratio amplification;
- high stability of the shape of the radiation pattern in the main planes in the entire band of operating frequencies;

- convenient exploitation and unification of the structure;

The measuring equipment includes:

- wide-range non-directional antennas of various applications;
- sets of antenna systems for automatic direction finding in traffic, on parking lots and for stationary posts;
- sets of antenna modules with directional properties for manual direction finders for open and covert use.

As seen, most often in the measurement equipment uses sets of antennas, each of which has its own range and directional properties.

When monitoring the radio frequency spectrum of a particular band, it is necessary to use an antenna with a corresponding band of operating frequencies. Therefore it is necessary to use either universal broadband antenna or change the antenna when switching from one range to another.

We developed an antenna system designed for operation as part of measuring equipment for monitoring radio air. The system consists of two antennas: log-periodic, operating in the frequency band 80 ... 1000 MHz, and a horn antenna operating in the 1 ... 12 GHz band.

The log-periodic antenna consists of twenty-one elements, with a design period of $\tau = 0.84$ and the angle $\alpha = 45^\circ$. The length of the collective antenna line is 1.57 meters. The length of the longest vibrator (one side) is 0.83 meters, the shortest - 0.4 meters.

The conducted antenna studies showed that its amplification factor in the operating band is practically unchanged and is 12 dB, and the protective action factor is 18 dB.

As the second antenna, the measuring horn antenna P6-23A is used, which has the following technical characteristics:

- frequency range - 1 ... 12 GHz;
- Effective area:
- at a frequency of up to 6 GHz - 150 sm^2 ;
- at a frequency above 6 GHz - 130 sm^2 ;
- HF path - 50 Ohm;
- Error of effective area - 20%;
- SWR - 1.5;
- antenna input (cross section AA) - coaxial;
- Input resistance - 50 Ohm;
- level:
- side lobes - not more than 10 dB;
- transverse polarization - not more than 20 dB.

Figure 1 shows a generalized scheme of the antenna system. Both antennas are fixed on a common traverse, which, in turn, is fixed to a vertical mast. In the system, it is possible to change the direction of monitoring in the meridian (horizontal) plane, and also to change the polarization of the antennas.

The horizontal spacing between the antennas is 1.5 meters, which allows to solve the problem of mutual influence of the antennas on each other.

Figure 2 shows the complete block diagram of the system, which consists of the developed antenna system, the switching system, the stationary radio monitoring system Rohde & Schwarz UMS100, with the possibility of connecting the portable receiver Rohde & Schwarz PR100, the antenna control unit, and the computer terminal.

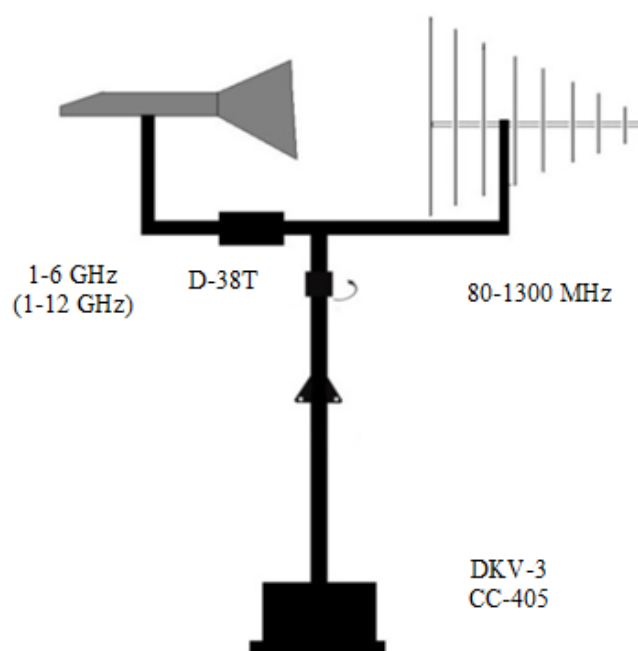


Fig.1 General scheme of the antenna system

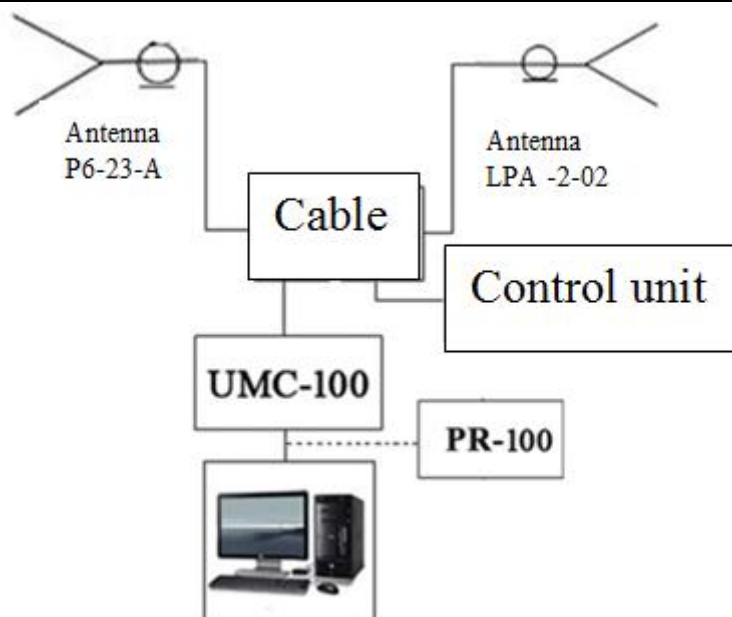


Fig. 2 Structure diagram of the antenna system

Let us consider the design features of the developed antenna system.

In the system, it is possible to change the polarization of both antennas by means of an electric motor that can be controlled remotely by giving commands through a computer terminal. For each antenna its own polarization or the same polarization for both antennas can be set.

The mast on which the antennas are installed changes its position with the help of a second engine, which can also be controlled remotely by giving commands through the same computer terminal. Thus, it is

possible to control the monitoring direction operatively, in real time, by changing the viewing angle of the antenna system to the point of arrival of the investigated signal from zero to three hundred and sixty degrees.

In the rotary system, a Selsyn-sensor-receiver is used, which synchronously, with an accuracy of 0.1 degrees, sets the angle of rotation of the antennas specified by the operator on the computer terminal.

The appearance of the antenna system is shown in Fig.3



Fig.3 Appearance of the developed antenna system

With the help of the developed antenna system, measurements of the electric field strength were made, which was created by various sources of radio emission in different regions of the Samarkand region of the Republic of Uzbekistan. Table 1 shows the results of

measurements obtained with the developed antenna system and standard antennas included in the measuring equipment of Rohde & Schwarz UMS100.

Table 1.

Results of measurements of electric field strength.

№	Frequency, MHz (system type)	The values of the field strength, measured with the help of the developed antenna system (dB μ V / m)		The values of the field strength measured with the UMS-100 standard antennas (dB μ V / m)	
		Position 1 vertical	Position 2 horizontal	Position 1 vertical	Position 2 horizontal
1.	100.5 MHz (FM station)	87,0		80,0	
2.	101,0 MHz (FM station)	95,2		84,1	
3.	101,9 MHz (FM station)	86,0		75,0	
4.	191,250 MHz 197,750	100,0/93,5		98,0/95,0	
5.	554 MHz (Broadcasting standard DVB, 31TVCH)	78,4		70,0	
6.	569 MHz (telecasting standard DVB, 33TVCH)		79,1/74,0	74,0/68,3	
7.	465,850 MHz (mobile communication of standard CDMA450)	95,5		90,5	
8.	872,500 MHz (mobile communication of standard LTE800)	99,8		85,4	
9.	886,5 MHz (mobile communication standard GSM900)	103,7		91,7	
10.	946 MHz (mobile communication standard GSM900)	101,7		88,4	

Analysis of the measurement results shows that the difference between the results obtained with the developed antenna system and the standard antennas is from 5 dB μ V / m to 26 dB μ V / m.

For example:

- at the frequency of 465.850 MHz, the difference is 5 dB μ V / m,
- at the frequency of 100.5 MHz, the difference is 7 dB μ V / m,
- at the frequency of 872.500 MHz, the difference is 14.4 dB μ V / m,
- at the frequency of 2117.5 MHz, the difference is 16 dB μ V / m,
- at the frequency of 2670 MHz, the difference is 13.2 dB μ V / m,
- at the frequency of 1877.4 MHz the difference is 26 dB μ V / m.

In this way, it can be stated that the developed antenna system gives more accurate results than with the use of standard antennas, which are part of the measuring equipment.

In addition, due to the possibility of remote control (in manual or automatic modes) by the antenna system, the measurement process gets much simpler, which is very important for the difficult field conditions of hot regions of the Republic of Uzbekistan.

Conclusion.

In this article, a description has been given of the developed electronic-mechanical antenna system, which can be used as part of modern measurement equipment for radio monitoring.

The advantage of the design is that it greatly simplifies the measurement work, since during the measurement it is often necessary to change the height of the suspension of the measuring antennas, their orientation in the horizontal plane and polarization.

The use of selsyn transmitter and motors together with the computer control system allows to increase the accuracy of measurements and to reduce the physical load on the operators conducting the measurements. This is especially important for long-term studies in complex field conditions at high or low ambient temperatures and other climatic influences on the mobile radio monitoring terminal.

Bibliography:

1. Тамбиева Д.Т., Гусева Л.Л. Решение задач радиомониторинга. Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 6. – С. 63-64; URL: <https://www.top-technologies.ru>
2. Рембовский А.М. Комплексы радиоконтроля и выявление каналов утечки информации

// Системы безопасности связи и телекоммуникаций. -М.: № 23, 1998. - С. 54-56.

3. Вартапесян В.А. Радиоэлектронная разведка. -М: Воениздат, 1991. -254 е., ил.

4. Клименко Н.Н. Радиостанции УКВ диапазона (состояние, перспективы развития и особенности применения режима скачкообразного изменения частоты) // Зарубежная радиоэлектроника, № 7,8, 1990. с.32-41, с.68-75

5. Гуткин А.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. М.: Радио и связь, 1986. - 286 е.: ил.

6. Дятлов А.П. Модели радиосистем первичной обработки информации// Методическое руководство по курсовому проектированию. Таганрог: ТРТИ, 1990.-67 с.

7. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.:Радио и связь,1985.384 с.

8. Кочемасов В.Н., Белов Л.А. и др. Формирование сигналов с линейной частотной модуляцией. -М.: Радио и связь, 1983. 192 с.

Botvinovska S.I.

*Candidate of technical sciences, associate professor,
Kyiv National University of Construction and Architecture*

Ботвіновська Світлана Іванівна

*Кандидат технічних наук, доцент кафедри
нарисної геометрії та інженерної графіки,*

Київський національний університет будівництва і архітектури

ANALYSIS OF TOPOLOGICAL PARAMETERS GRID AT DISCRETE GEOMETRIC MODELING

АНАЛІЗ ТОПОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СІТОК ПРИ ДИСКРЕТНОМУ ГЕОМЕТРИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ

Summary. The article deals with the question of parameterization of a discrete grid in the horizontal plane of the formation a point frame of a discretely-represented surface. This process involves the construction of a system of finite-difference equations or recurrent formulas for all nodes. In addition, the number of system equations has to be equal to the number of unknown coordinates. As while forming discrete images on the basis of recurrent formulas, a problem of the parametric correspondence of the task and the source data arises, the method of counting the number of contour and internal nodes of different types of grids with complex marginal conditions was developed in the present work. While composing a system of recurrent equations for the formation of a discrete frame of the surface of SGM, the method allows for controlling the number of equations and the number of given coordinates in these equations according to the parameters of elementary cutouts that help to form a complex contour.

Key words: *geometric modeling, discrete surface modeling, static-geometric method, discrete frame, grid topology.*

Анотація. У статті розглядається питання параметризації дискретної сітки в плані при формуванні точкового каркаса дискретно представленої поверхні. Цей процес передбачає складання системи кінцево-різницьових рівнянь або рекурентних формул для всіх вузлів. До того ж, кількість рівнянь системи повинна дорівнювати кількості невідомих координат. Оскільки, при формуванні дискретних образів на основі рекурентних формул виникає проблема параметричної відповідності задачі та вихідних даних, у роботі розроблена методика підрахунку числа контурних та внутрішніх вузлів сіток різного типу із складними крайовими умовами, яка дозволить при складанні системи рекурентних рівнянь для формування дискретного каркаса поверхні статико-геометричним методом контролювати число рівнянь і число заданих координат у цих рівняннях за параметрами елементарних вирізів, які і допомагають утворювати складний контур.

Ключові слова: *геометричне моделювання, дискретно представлена поверхня, статико-геометричний метод, дискретний каркас, топологічна схема сітки*

Постановка проблеми. Загальновідомо, що сучасна дискретна геометрія тісно пов'язана з чисельними методами, і у процесі свого розвитку надала їм наочності, збагатила їх новими можливостями. Це значно полегшило використання цих методів конструкторами, інженерами, архітекторами та дизайнерами у процесі моделювання криволінійних поверхонь.

Дискретні моделі різноманітних криволінійних об'єктів мають ряд переваг перед неперервними, особливо коли це стосується комп'ютер-

ного моделювання [12, 13]. При проектуванні поверхонь сітчастих оболонок в архітектурі, або створенні дизайн-об'єктів складної форми важливу естетичну роль грає малюнок дискретної сітки, нанесеної на поверхню. Самі сітки можуть відображати як метричні, так і статичні властивості геометричної форми модельованої поверхні. Представляють інтерес можливості використання різних сіток у плані для формування дискретних каркасів різноманітних оболонок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед загально відомих методів дискретного моделювання процесів, об'єктів та явищ особливою увагою користується статико-геометричний метод професора Ковальова С.М. [2]. Цей метод є наочною інтерпретацією методу скінчених різниць. Рішення задач дискретного моделювання об'єктів, з використанням цього метода, зводиться до розв'язання системи лінійних або нелінійних рівнянь, в залежності від заданих вихідних умов.

У процесі формоутворення дискретних образів статико-геометричним методом виникає проблема параметричної відповідності задачі та вихідних даних. При довільно заданих крайових умовах задача може не мати розв'язку, якщо число рівнянь не відповідає числу невідомих. Питання параметричного аналізу вихідних даних при формуванні дискретних образів на основі кінцево-різницевого рівнянь достатньо вивчено [1, 2, 4, 6, 7]. Аналіз робіт з цього питання довів, що існуючі дискретні способи формування точкового каркасу дискретно представлені поверхні передбачають складання системи кінцево-різницевого рівнянь або рекурентних формул для всіх вузлів сітки [5, 8]. До того ж, кількість рівнянь системи повинна дорівнювати кількості невідомих координат вузлів сітки. Таким чином, формування дискретних каркасів геометричних образів із довільно заданими вихідними даними зводиться до визначення рекурентної залежності між групою суміжних вузлів геометричного образу, складання відповідних систем рекурентних формул, де число рівнянь дорівнює числу невідомих координат вузлів дискретної сітки, і до розв'язання цієї системи.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Аналіз літературних джерел показав, що існують різні рекурентні формули, які не є кінцево-різницевоими рівняннями, але можуть використовуватись для формування дискретних образів. Параметризація вихідних даних для цих випадків не вивчалась. Параметризація вихідних даних для дискретних сіток з різними по формі вирізами та складними границями не проводилась.

Мета досліджень. Виконати параметричний аналіз вихідних даних у задачах дискретного моделювання криволінійних поверхонь, а саме там, де використовуються дискретні сітки із складними границями у плані.

Викладення основного матеріалу. Аналіз сучасного стану дискретного геометричного моделю-

вання показав, що при конструюванні різноманітних дискретно представлених геометричних образів серед вихідних даних обирається ряд умов, які об'єднані у поняття «топологія сітки» [5]. Процес дискретизації складних геометричних об'єктів починається із вибору топології сітки.

При дискретному моделюванні поверхонь можуть використовуватись топологічно правильні сітки (упорядковані) та сітки з нерегулярною структурою (неупорядковані). До топологічно правильних сіток можна віднести двовимірні сітки, які включають в себе клітини, однакові по формі та з однаковою кількістю вершин, для яких відома система нумерації вузлів. Вузли таких сіток мають упорядковану структуру, однакову кількість в'язей. До вихідних умов таких сіток можна віднести не лише границю сітки, форму клітин, задані окремі вузли та вузли на границях сітки, коефіцієнти пропорційності зусиль натягнення у в'язях, а й кроки сітки по горизонталі та вертикалі. З точки зору комп'ютерної візуалізації, такі сітки є дуже привабливими та простими у використанні.

Неупорядковані сітки мають різні за кількістю вершин клітини, вузли з різною кількістю в'язей. Для таких сіток залишається невідомою нумерація вершин, або її організація викликає відповідні складності. Найчастіше, процес моделювання поверхонь за допомогою подібних сіток супроводжується використанням триангуляції Делоне, що дозволяє моделювати найрізноманітніші дискретні поверхні. Такі сітки використовують при моделюванні криволінійних поверхонь сучасних архітектурних споруд з різноманітними формами клітин, що надає споруді оригінального вигляду [9, 10].

З точки зору топології, будь яка сітка з кінцевою множиною вузлів є двовимірним комплексом [3, 5], звідси властивості сіток збігаються із властивостями двовимірних комплексів і достатньо детально описані в літературі [11]. Топологічним поняттям «вершина», «ребро», «грань» при дискретному моделюванні поверхонь у вигляді сіток відповідають поняття «вузол», «в'язь», «клітина». У статті розглянемо лише недосліджені характеристики топологічної організації сіток, які використовуються у статико-геометричному методі. Найбільш вживаними є сітки, які мають як клітини так і внутрішні вузли з однаковою топологією. В залежності від форми клітин і числа в'язей у вузлах, за [5] регулярні сітки бувають трьох типів.

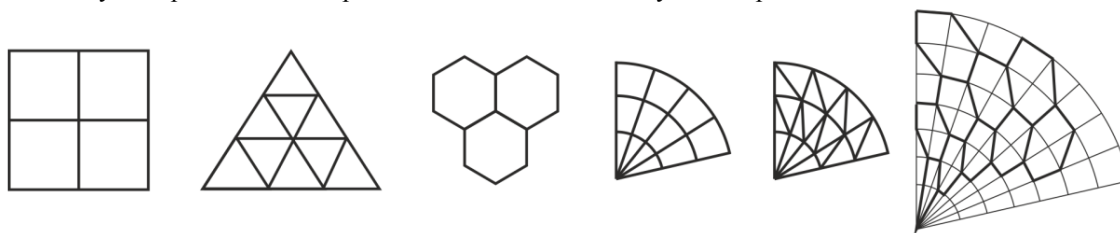


Рис. 1 Схеми найпоширеніших дискретних сіток

До першого типу належать сітки із трикутними клітинами і шістьма в'язями у вузлах. До другого типу, належать сітки із чотирикутними клітинами та чотирма в'язями у вузлах. Третій тип

включає сітки із шестикутними клітинами і трьома в'язями у вузлах (рис. 1).

З іншого боку, за принципом системи відліку вузлів сітки, всі сітки можуть розділятися на два типи:

- перший, коли система відліку вузлів будується на основі топологічного перетворення сітки таким чином, щоб вузли сітки належали правильній сітці із квадратними клітинами (рис. 2, а, б, в);

- другий, коли сітка має радіально-кільцеву організацію вузлів, топологія одного із внутрішніх вузлів відрізняється від топології інших вузлів. Наприклад, центральний вузол на рис. 2, г відрізняється від всіх інших внутрішніх вузлів кількістю в'язей у ньому.

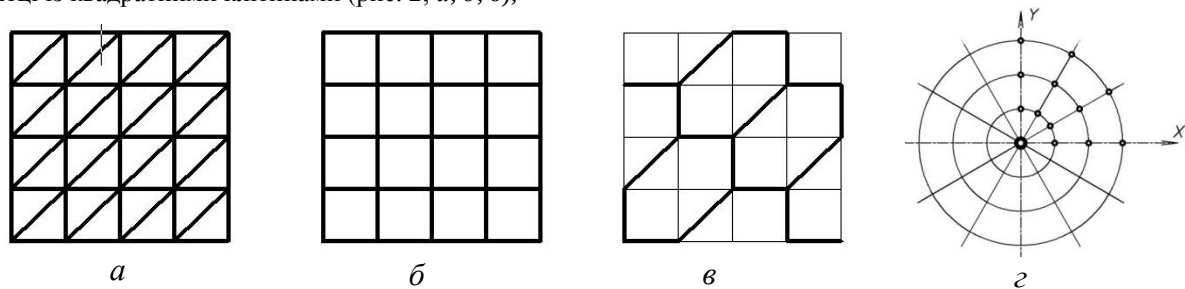


Рис. 2 Приклади сіток з топологічно однаковими внутрішніми вузлами та сітки з центральним вузлом, відмінним від інших

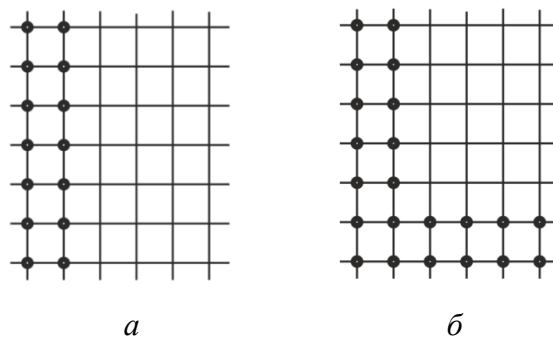


Рис. 3 Початкові умови для двовимірного дискретного образу

Рекурентні формули для наочності часто подають у вигляді так званих обчислювальних шаблонів (рис. 4). Обчислювальні шаблони можуть бути різних конфігурацій, в зв'язку з чим, виникає необхідність у параметризації вихідних умов (початкових та крайових) при формуванні точкового каркасу поверхні. Початкові або крайові умови (рис. 3, а, б) можуть бути представлені у вигляді заданих вузлів або залежностей між їх координатами.

Початкові умови в дискретному вигляді можна розглядати як дискретний аналог початкових умов при постановці задачі Коши для диференціальних рівнянь. Крайові (граничні) умови в дискретному вигляді розглядаються за аналогією із крайовими умовами, які повинні задовольняти диференціальні рівняння на границі області, для якої ведеться пошук рішень [13]. Максимальна розмірність початкових або крайових умов пов'язана із розмірністю дискретного образу і дорівнює $(n-1)$, де n – розмірність образу.

Початкові або крайові умови меншої розмірності підпорядковані умовам $(n-1)$ розмірності та визначаються ними.

Так, для двовимірного дискретного образу прикладом початкових умов виступають суміжні ряди вузлів одного напрямку, або ряди двох напрямків, як схематично показано на рис. 3, а.

Кількість рядів та їх взаємне розташування визначається геометрією обчислювального шаблону (рис. 3, б). Початкові умови завжди дозволяють обчислювати координати невідомих вузлів безпосередньо із допомогою рекурентної формули без складання системи рівнянь.

Крайові умови потребують складання та розв'язання системи рівнянь, число яких буде відповідати числу невідомих координат вузлів дискретного образу. Прикладом задання крайових умов для двовимірного образу можуть бути ряди точок замкнутого контура області.

Спробуємо розв'язати проблему параметричної відповідності задачі моделювання дискретного каркаса поверхні статико-геометричним методом та вихідних даних для сіток другого типу.

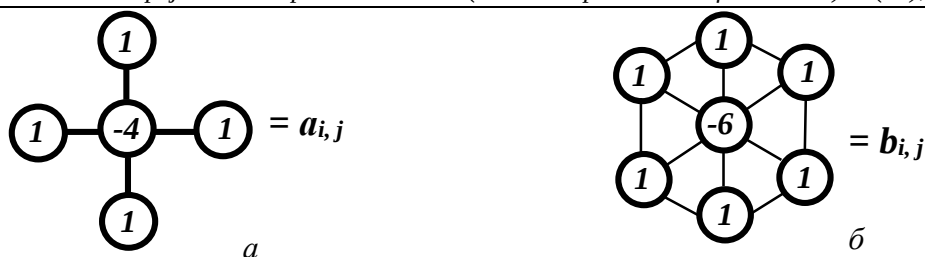


Рис. 4 Обчислювальні двовимірні шаблони:
а) базовий обчислювальний шаблон для сіток другого типу;
б) обчислювальний шаблон для сіток першого типу.

Значна група рекурентних формул може бути приведена до кінцево-різницевої апроксимації (у МСР – операторів центрально-різницевої апроксимації).

Відповідно, для дискретних сіток другого та першого типу (рис. 2, а, б), обчислювальні шаблони можуть бути п'яти точковими або семи точковими (рис. 4, а, б), де $a_{i,j}$, $b_{i,j}$ – це величини кінцевих

різниць, які можуть бути як постійними так і змінними.

Наприклад, бігармонічний оператор (шаблон) може бути приведений до п'яти точкового шаблону (рис. 4, а), де $a_{i,j}$ – змінюється за параболічним законом.

$$a_{i-1,j} + a_{i+1,j} + a_{i,j-1} + a_{i,j+1} - 4a_{i,j} = 0, \quad (1)$$

де

$$\begin{aligned} a_{i,j} &= u_{i-1,j} + u_{i+1,j} + u_{i,j-1} + u_{i,j+1} - 4u_{i,j}; \\ a_{i-1,j} &= u_{i-2,j} + u_{i,j} + u_{i-1,j-1} + u_{i-1,j+1} - 4u_{i-1,j}; \\ a_{i+1,j} &= u_{i,j} + u_{i+2,j} + u_{i+1,j-1} + u_{i+1,j+1} - 4u_{i+1,j}; \\ a_{i,j-1} &= u_{i-1,j-1} + u_{i+1,j-1} + u_{i,j} + u_{i,j-2} - 4u_{i,j-1}; \\ a_{i,j+1} &= u_{i-1,j+1} + u_{i+1,j+1} + u_{i,j} + u_{i,j+2} - 4u_{i,j+1}; \end{aligned} \quad (2)$$

Тоді, шаблон може виглядати так, як представлено на рис. 5. При підстановці (2) до рівняння (1)

отримаємо рекурентну формулу бігармонічного оператора у вигляді:

$$\begin{aligned} Z_{i-1,j} + Z_{i+1,j} + Z_{i,j-1} + Z_{i,j+1} + Z_{i-2,j} + Z_{i-1,j+1} + Z_{i+2,j} + Z_{i,j-2} + Z_{i,j+2} \\ + 2Z_{i-1,j-1} + 2Z_{i+1,j-1} + 2Z_{i+1,j+1} - 4(Z_{i-1,j} + Z_{i+1,j} + Z_{i,j-1} + Z_{i,j+1}) = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

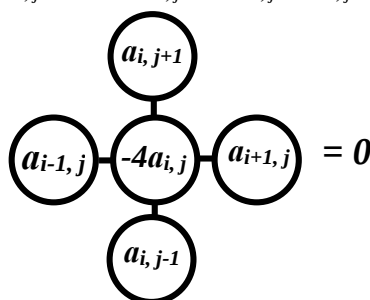


Рис. 5 Обчислювальний двовимірний шаблон із змінним $a_{i,j}$

У випадку використання шаблонів, приведених на рис. 4, а, б початкові умови можуть задаватися одним, двома або декількома рядами точок і незамкненим контуром (рис. 6, а).

У випадку використання цих саме шаблонів на сітках відповідного типу, крайові умови можуть задаватися у вигляді замкненого контура (рис. 6, б), проте опорний контур навіть у вигляді одинарних

ланцюжків вузлів може мати достатньо складну конфігурацію та складатись як з однієї, так і декількох компонент.

Визначимо кількість контурних та внутрішніх вузлів сітки другого типу для границі складної конфігурації при умові, що границі вирізів не перетинаються з в'язями сітки.

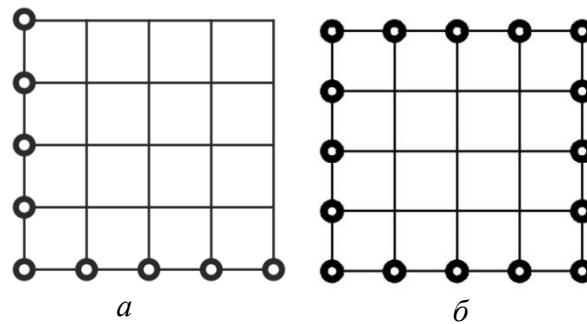


Рис. 6 Задання початкових та крайових умов, при використанні базових шаблонів для сіток другого типу

Контур сітки складної конфігурації можна отримати, вирізавши із прямокутної топологічної схеми зі сторонами $m \times n$ чотирикутні ділянки чотирьох типів: кутові (1), приконтурні (2; 3), внутрішні (4) (рис. 2.12) та трикутні ділянки п'яти типів: кутові (5), приконтурні (6; 7), внутрішні (8; 9) (рис. 7).

При вирізанні кутової ділянки (1) число контурних вузлів сітки не буде змінюватись, оскільки внутрішні вузли вихідного опорного контура будуть замінюватись вузлами контура вирізаної ділянки, а число внутрішніх вузлів зменшується на $m_1 \times n_1$.

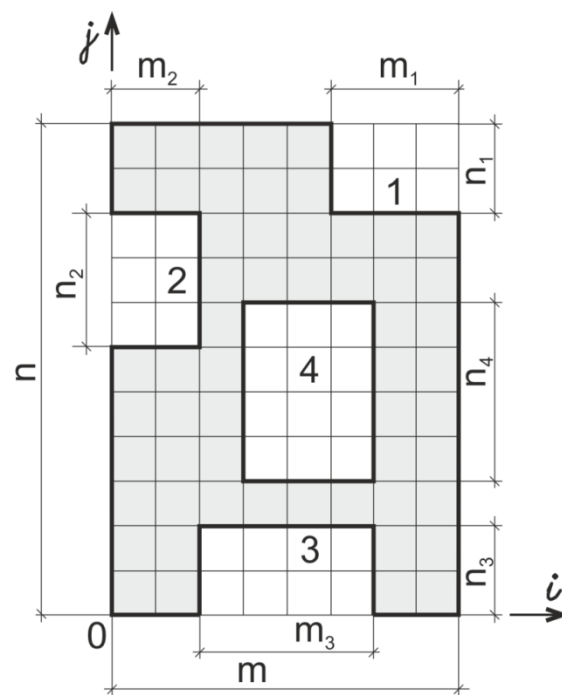


Рис. 7 Чотирикутні вирізи на топологічній схемі сітки

При вирізанні чотирикутної ділянки (2) зі сторонами $m_2 \times n_2$, одна сторона якої збігається зі стороною $i = 0$, або $i = m$ вихідного контура, буде додаватись до заданого контура $2m_2$ нових вузлів, а якщо одна сторона ділянки збігається зі стороною $j = 0$, або $j = n$ вихідного контура –

$2n_2$ нових вузлів. Число внутрішніх вузлів вихідної сітки зменшується відповідно на $m_2(n_2 + 1)$, або на $n_2(m_2 + 1)$ вузлів.

При вирізанні чотирикутної ділянки (4) зі сторонами $m_4 \times n_4$, жодна сторона якої не збігається зі стороною вихідної сітки, до контура додавати-

меться $2(m_4 + n_4)$ нових вузлів, а число внутрішніх вузлів сітки зменшується на $(m_4 + 1)(n_4 + 1)$ вузлів.

Аналогічно можна підрахувати числа контурних та внутрішніх вузлів трикутних виразів (5-9) (рис. 8). Числа контурних та внутрішніх вузлів, що віднімаються або додаються до вузлів вихідної сітки наведено в табл. 1.

Загальне число контурних вузлів сітки складної конфігурації можна підрахувати, якщо до числа $2(m + n)$ по чергово додавати числа контурних вузлів з таблиці 1.

Для визначення числа внутрішніх вузлів сітки складної конфігурації потрібно числа внутрішніх вузлів по чергово додавати до числа $(m - 1)(n - 1)$ внутрішніх вузлів вихідної сітки.

Наприклад, треба підрахувати числа контурних та внутрішніх вузлів сітки з виразами, топологічну схему якої показано на рис. 9

При вирізанні чотирикутної ділянки *EFGB* і трикутної ділянки *DRS* залишається сітка конфігурації *AEFGCSR*, з якої вирізаються ділянки *HFE* та *JKLM*. Останніми вирізаються трикутні ділянки *JNT* та *LQP*.

Таблиця 1

Числа контурних та внутрішніх вузлів, що треба додавати або віднімати від числа відповідних вузлів вихідної сітки $m \times n$

№ вирізу	Число контурних вузлів	Число внутрішніх вузлів
1	0	$-m_1 n_1$
2	$2m_2$	$m_2(n_2 + 1)$
3	$2m_3$	$m_3(n_3 + 1)$
4	$2(m_4 + n_4)$	$-(m_4 + 1)(n_4 + 1)$
5	$-m_5$	$-\frac{m_5(m_5 - 1)}{2}$
6	m_6	$-\frac{m_6(m_6 - 1)}{2}$
7	0	$-m_7^2$
8	$3m_8$	$-\frac{(m_8 + 1)(m_8 + 2)}{2}$
9	$4m_9$	$-(m_9 + 1)^2$

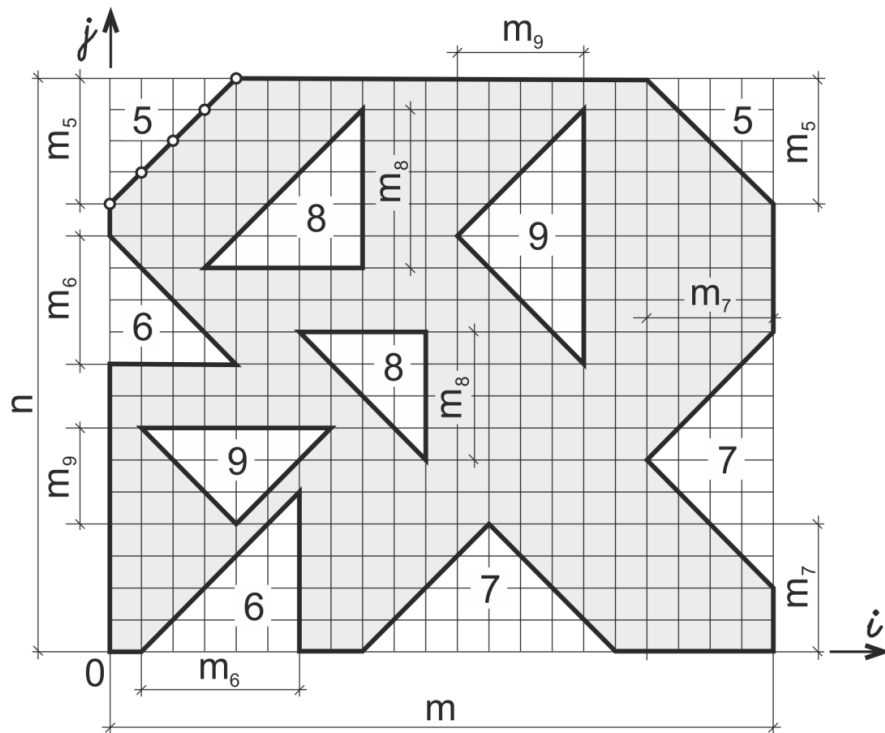


Рис. 8 Трикутні вирізи з топологічної схеми сітки

Тоді число вузлів контура, який складається з двох компонент налічуватиме:

$2(m+n) + 0 - m_5 - m_5 + 2(m_4 + n_4) + m_6 + 0 = 46 - 3 - 4 + 18 + 3 = 60$, а число внутрішніх вузлів сітки буде:

$$(m-1)(n-1) - m_1 n_1 - \left(\frac{m_5(m_5-1)}{2} \right) - \left(\frac{m_5(m_5-1)}{2} \right) - (m_4+1)(n_4+1) - \left(\frac{m_6(m_6+1)}{2} \right) - m_7^2 = (10 \cdot 11) - 9 - 3 - 6 - 28 - 6 - 4 = 54.$$

Загалом, при подальшій роботі з сітками, де є клітини, відмінні від прямокутних з контуром складної конфігурації у плані, наприклад для сіток із різними за формою клітинами (рис. 9), методика підрахунку кількості контурних та внутрішніх вузлів

буде повністю зберігатись, оскільки кожену пару трикутних клітин із спільною в'яззю можна представити як одну чотирикутну клітину.

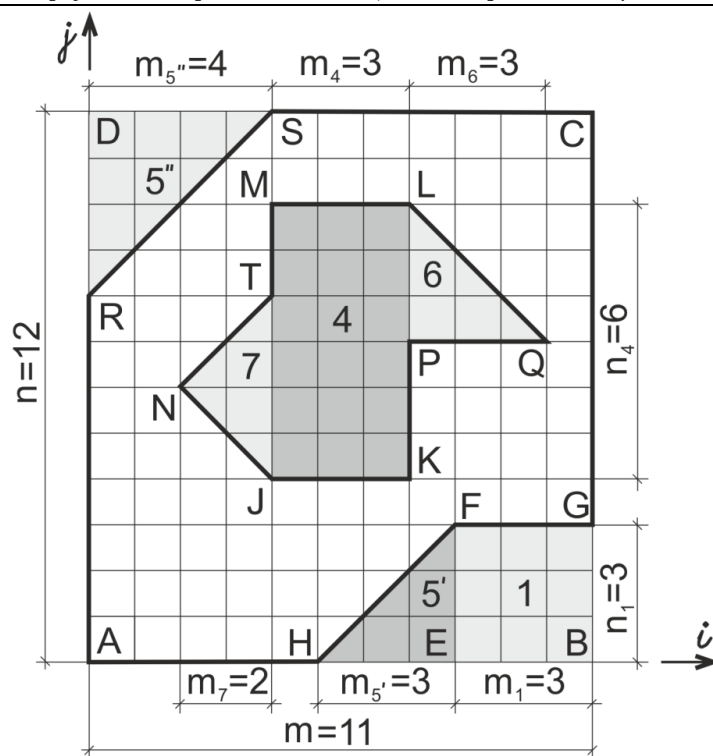


Рис. 9 Приклад різноманітних вирізів із топологічної схеми сітки

При подальшому моделюванні дискретного каркасу поверхні необхідно скласти систему різницевих рівнянь, число яких буде дорівнювати числу координат внутрішніх вузлів сітки, а число заданих вузлів буде відповідати крайовим умовам.

Розглянемо детальніше сітки третього типу (рис.10). Загальне число всіх вузлів радіально-кільцевої сітки дорівнює $mn + 1$, де m – число кілець сітки, які можна підрахувати вздовж осі Ox ; n – число в'язей одного кільця сітки.

З цього загального числа вузлів, n вузлів належать контуру, тоді сітка має $mn + 1 - n$ внутрішніх вузлів. Радіально-кільцеву сітку без центрального вузла можна топологічно перетворити на сітку з квадратними клітинами, як на рис. 10. Тоді, чотирикутні та трикутні вирізи з радіально-кільцевої сітки (які не містять центральний вузол) відповідатимуть таблиці 1.

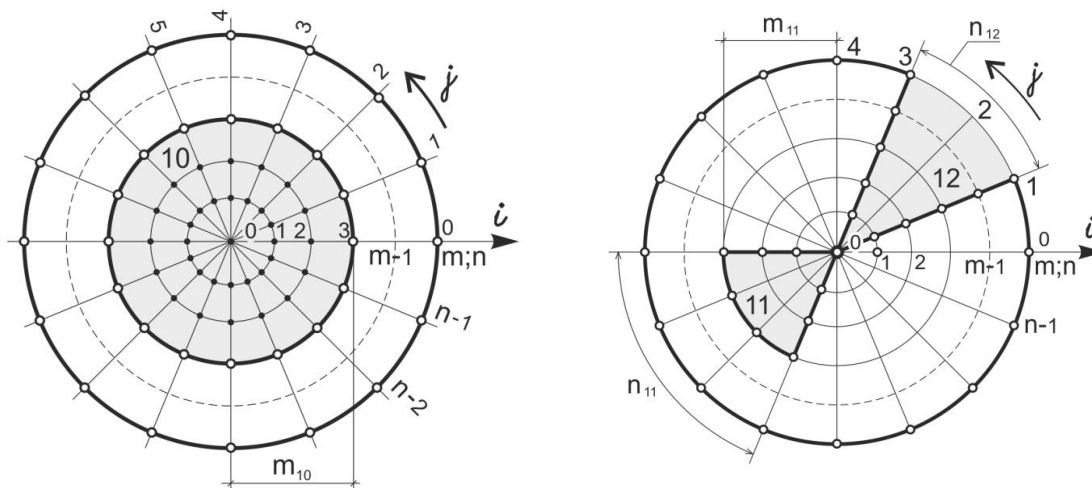


Рис. 10 Вирізи з радіально-кільцевої топологічної схеми сітки

Якщо ділянки радіально-кільцевої сітки містять центральний вузол, з'являються ще три компоненти, позначені номерами (10), (11), (12) (рис. 10, а, б), що відрізняються від розглянутих у таблиці 1. Число контурних вузлів сітки при вирізанні ділянки

(10) збільшується на n , а число внутрішніх вузлів зменшується на $m_1 n + 1$. При вирізанні ділянки (11) до числа контурних вузлів сітки додається

$2m_{11} + n_{11}$ вузлів, а число внутрішніх вузлів зменшується на величину $m_{11}(n_{11} + 1) + 1$, де нижній індекс відповідає номеру компоненти на топологічній схемі сітки.

При вирізанні з радіально-кільцевої сітки ділянки (12) число контурних вузлів збільшується на величину $2m - n_{12}$, а число внутрішніх вузлів зменшується на $m \cdot n_{12} + m - n_{12}$.

Висновки та пропозиції. Аналіз чисельних параметрів сіток другого типу і сіток з радіально-кільцевою організацією нумерації вузлів які мають складні границі дозволив привести у відповідність число невідомих з числом рівнянь рівноваги вузлів. Розроблена методика підрахунку числа контурних та внутрішніх вузлів сіток із складними границями дозволить у процесі складання системи рекурентних рівнянь для моделювання дискретних каркасів поверхонь статико-геометричним методом, контролювати число рівнянь і число заданих координат у цих рівняннях за параметрами елементарних вирізів, з топологічної схеми сітки, за допомогою яких утворюється складний контур сітки.

Список літератури:

1. Ботвіновська С.І., Ковальов С.М. Рекурентні формули числових послідовностей у формуванні дискретно визначених геометричних образів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка* : міжвідомчий наук.-техн. збірник / відп. редактор В.Є. Михайленко. Київ : КНУБА, 2006. Вип. 76. С. 30–37.
2. Золотова А.В. Одновимірна кускова дискретна інтерполяція точок на площині. *Наукові нотатки*. Луцьк. 2008. № 22. С. 125–130.
3. Ковалёв С.Н. Дискретные геометрические модели упругих сетей. *Прикладна геометрія, інженерна графіка* : зб. наук. праць. Київ : КИСИ, 1981. Вип. 32. – С. 20–22.
4. Ковалёв С.Н., Вязанкин В.А., Кашенко А.В. и др. Геометрические свойства дискретных сетей. *Прикладна геометрія, інженерна графіка* : зб. наук. праць. Київ : КИСИ, 1983. Вип. 35. С. 28–29.

УДК 621.311.1.

5. Ковалёв С.Н. Формирование дискретных моделей поверхностей пространственных архитектурных конструкций. дис. ...доктора техн. наук. 05.01.01. М. : МАИ, 1986. 348с.

6. Ковалев С.Н., Пустюльга С.И., Самчук П.В. Учет влияния геометрии опорного контура на моделирование дискретно заданных поверхностей. *Прикладна геометрія, інженерна графіка* : зб. наук. праць. Київ : КИСИ, 1992. Вип.53. С.12–17.

7. Ковалев С.Н., Пустюльга С.И. Место числовых последовательностей в дискретном геометрическом моделировании. *Геометричне та комп'ютерне моделювання*. Харків, 2005. Вип.10. С. 10–15.

8. Ковальов С.М., Ахматшина О.І. Формують роль зовнішнього навантаження в статико-геометричному методі. *Сучасні проблеми моделювання* : зб. наук. праць МДПУ ім. Б. Хмельницького / гол. ред. кол. А.В. Найдис. Мелітополь : Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. Вип.2. 161 с. С. 43–50.

9. Попов Е.В. Метод натянутых сеток в задачах геометрического моделирования : дис. ... доктора технич. наук : 05.01.01. Н. Новгород : ННГасу, 2002. 248 с.

10. Романова Ю.В. Систематизація дискретних плоских сіток. *Прикладна геометрія та інженерна графіка* : міжвідомчий наук.-техн. зб. – Київ : КНУБА, 2014. Вип. 92. С. 108–112.

11. Энциклопедия элементарной математики. Книга 4. Москва: государственное издание физико-математической литературы, 1963. – 559 с.

12. Schiftner A., Raynaud J., Baldassini N., Bo P., Pottmann H., Architectural freeform structures from single curved panels, in Proceedings of Advances in Architectural Geometry, Vienna, 2008, pag. 45-48.

13. Baldassini, N.; Raynaud, J. (2010). Free-form, form finding and anisotropic grid shell. Symposium of the International Association for Shell and Spatial Structures. Editorial Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/6961>.

Боровик Юрій Михайлович
Інститут електродинаміки

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОПОРУ ШУНТУЮЧИХ РЕАКТОРІВ НА СТРУМ ПІДЖИВЛЕННЯ В РЕЖИМІ ОАПВ

Анотація

В статті показано аналіз впливу опору шунтуючих реакторів на струм підживлення в режимі однофазного автоматичного повторного включення (ОАПВ).

Ключові слова: шунтуючі реактори, струм підживлення, ОАПВ.

Як відомо із [1] головну роль в підживленні пошкодженої фази в режимі ОАПВ відіграють ємнісні зв'язки і їх компенсація. Тому, як вважають автори [1,2] фізику явищ і основні співвідношення можна

розглядати на спрощеній схемі заміщення з зосередженими параметрами. Але, основним аспектом спрощення є не зосередженість параметрів лінії, а спрощення, що не враховується активний опір шунтуючих (ШР) і компенсаційних (КР) реакторів.

При аналізі роботи і проектуванні реальних пристроїв необхідно враховувати затушення, коли ро-

бота цих пристроїв зв'язана з резонансними процесами. Розглянемо схему рис. 1. де наявний опір і порівняємо її з схемою без активного опору.

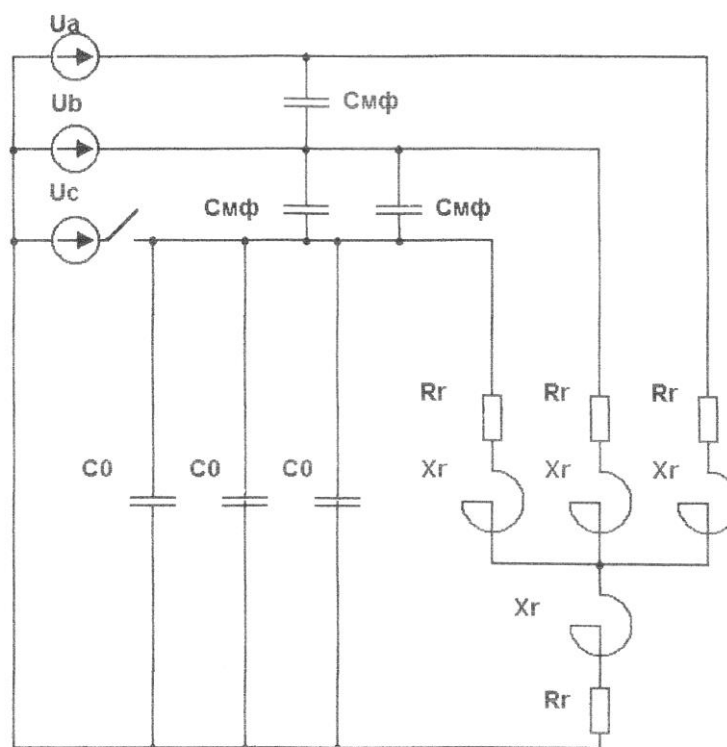


Рис.1. Схема заміщення ЛЕП з чотирьохпроміньним реактором в режимі ОАПВ.

На рис. 1. зображена схема заміщення ЛЕП з реакторами в режимі ОАПВ. На схемі U_a, U_b, U_c – фазні ЕРС, C_0 – ємність „фаза-земля”, C_{mf} – міжфазна ємність, R_r, X_r – активний і реактивний опір реакторів.

Для більш чіткого представлення резонансних процесів перетворим схему рис 1., до виду рис 2.

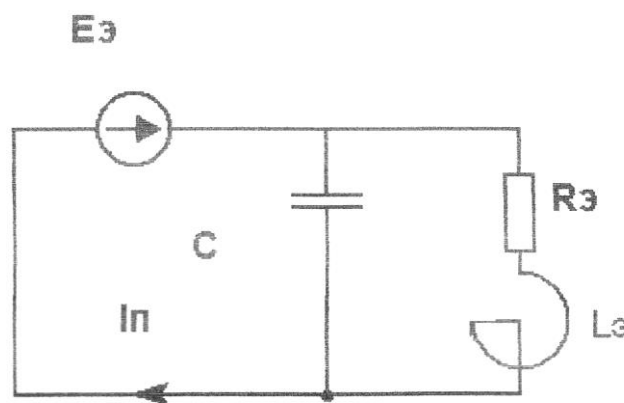


Рис.2. Схема заміщення після перетворення.

Розглянемо перетворену схему на рис.2. Якщо міжфазна ємність повністю компенсується, при ідеальній настройці лінії за допомогою компенсаційного реактора, то виходячи із схеми рис.2. можна сказати, що струм підживлення I_n зумовлений тільки активним опором контура. Якби контур був ідеальний, то струм підживлення був би рівний нулю. Запишемо закон збереження енергії для даної схеми.

Звідси

$$R \cdot I^2 = I_n \cdot E_3 \quad (1)$$

$$I_n = E_3 \cdot \frac{R_3 \cdot C}{L_3} \quad (2)$$

Отже, значення струмів підживлення дуги, при коротких замиканнях залежать також від опорів шунтуючих (ШР) і компенсаційних (КР) реакторів. Чим менше опір реакторів, тим менше струм підживлення в режимі ОАПВ.

Література

[1] Беляков Н.Н., Рашкес В.С., Рожавская С.Н. Использование компенсационных реакторов для облегчения условий ОАПВ на высоковольтных линиях. - "Электрические станции", 1975, 12.

[2] Беляков Н.Н., Рашкес В.С., Бургсдорф В.В., Хоециан К.В. Исследование ОАПВ в электропередачах 750 кВ с шунтирующими реакторами. – «Электричество», 1981, №7.

Hanziuk Andrii Leonidovichgraduate student of department
of wearproofness of machines
Khmelnysk national university**Oleksandrenko Victor Petrovich**doctor of engineering sciences, professor
dean of faculty of engineering mechanics
Khmelnysk national university**Ганзюк Андрій Леонідович**аспірант кафедри зносостійкості машин
Хмельницького національного університету**Олександренко Віктор Петрович**доктор технічних наук, професор,
декан факультету інженерної механіки
Хмельницького національного університету**PROTECTION OF SURFACE OF NOMINAL-REAL ESTATE DETAILS IN THE CONDITIONS
OF SMALL-AMPLIFIED FRETING BY Bi-Sn-Pb-Cd BASES****ЗАХИСТ ПОВЕРХОНЬ НОМІНАЛЬНО-НЕРУХОМОГО КОНТАТУ ДЕТАЛЕЙ В УМОВАХ
МАЛОАМПЛІТУДНОГО ФРЕТИНГУ СПЛАВАМИ НА ОСНОВІ Bi-Sn-Pb-Cd**

Summary: Analysis of type of damages of functional elements of motor-car technique has showed that the damage of metal is related to the accumulation and cooperation of defects of structure, by chemical cooperation of metal and environments by an increase little-amplified frettage. Character of change of force of friction is investigated and set in nominally-immobile connections on the stage of nominal adhesion and to passing to skidding. Recommendations for increase the capacity of nominally-immobile connections are given by the method of coating on the basis of fusible to the alloy of Bi-Sn Pb-Cd.

Key words: *fretting process, force of friction, capacity of connections.*

Аннотация: Анализ вида повреждений функциональных элементов автомобильной техники, показал, что повреждение металла связано с накоплением и взаимодействием дефектов структуры, химическим взаимодействием металла и среды усиленным малоамплитудным фреттингом. Исследовано и установлено характер изменения силы трения в номинально-неподвижных соединений на стадии номинального прилипания и переходу к скольжению. Даны рекомендации повышения работоспособности номинально-неподвижных соединений методом нанесения покрытия на основе легкоплавкого сплаву Bi-Sn-Pb-Cd.

Ключевые слова: *фреттинг-процес, сила трения, работоспособность соединений*

Formulation of the problem. The solution of the scientific and technical problem, namely the fight against friction and the increase of wear resistance of surfaces of parts, which are in nominally-fixed contact, does not lose its relevance. According to operational estimates [1], the reduction of losses from the wearing of critical parts will allow one-third to cut costs for repair and operation of various types of machinery. Friction is the initiator of dynamic, deformation, thermal, adhesion and other processes that affect the working life of friction units, their energy performance and efficiency [1, 2]. It is known that the work life of tribocompounds is limited to premature wear or destruction of contacting parts, including as a result of the emergence and development of a special type of surface damage - fretting corrosion. The phenomenon of fretting, as one of the contact types of interaction, is due not so much to the problem of wear of friction units, but with the danger of a sudden failure of nominally-immovable connections, and therefore the study of the influence of external factors on the process of fretting-wear is an urgent task.

Analysis of recent research and publications. It is known [2] that one of the main reasons for the loss of integrity of the connection is the fringing process (AF),

the causes of which are the characteristic relative motion and microplating of contact surfaces. The flow of AF at low amplitudes is characterized by complex dynamics and instability of relative motion [2]. Therefore, the nature of phenomena with low amplitude Freight is still far from a holistic conclusion. Thus, the notion of the upper boundary of the low-amplitude fretting remains rather uncertain. This is due to the fact that with small displacements of surfaces and even a sufficiently large number of oscillations, it is difficult to determine the degree of damage to the contact. At present, it is thought that the upper limit of the low-amplitude fretting is 30 ... 35 microns [3]. Also, it remains unclear what the relationship should be between slipping and clutching in the relative displacement of surfaces in order to assume fretting at low amplitude. The use of automatic equipment in terms of the reliability of mounting points and AF is distinguished by the main factors: the unsteadiness of dynamic loads and the influence of the external environment [2]. It is precisely the non-stationary load that results in the sudden destruction of the knots of the real conjugation, and the concealment of the long-term action of the fretting does not allow for the prediction of an emergency situation.



Fig.1. View of the section of the right axle of the front wheels of the car's semitrailer



Fig.2. Appearance of damage to the car's hinge threaded part

Selection of previously unsettled parts of the general problem. The analysis of the color of the surface of the parts (Fig. 1, Fig. 2) and the type of destruction of the functional elements, under the action of cyclic dynamic operating loads, shows that the damage to the metal is associated with the accumulation and interaction of structural defects, the chemical interaction of the metal and the environment by amplified low amplitude fretting.

The purpose of the article. The purpose of the study is to determine the nature of the friction at the stage of nominal adhesion and in the transition to slip and to ensure the performance of nominally-immobile friction compounds due to the increase of their fretting resistance using a coating method based on the low-melting alloy Bi-Sn-Pb-Cd.

Presentation of the main material. AF is determined by a complex set of mechanical and chemical processes that occur in the contact area of two surfaces. We can state that this type of interaction is manifested

in most cases when exploiting nominally-fixed compounds, when there are no visible relative displacements [4]. The difficulty lies in the fact that to a certain magnitude of stress and deformation of the surface, the amplitude-frequency characteristic of the vibrations of two bodies is practically the same, which excludes the relative displacement of surfaces.

Obtained results (Fig. 3): the evolution of the contact zone of the sample at the installation for the study of parameters of frictional contact [5]. The study of the surface of the samples showed that there are lesions characteristic of fretting. The complex combination of surface adhesion, elasticity of the contact layer and dynamic phenomena in the system "contact - sub surface layer - body as a whole" does not give the precise value of the amplitude of slip according to the usual measurement method. For investigation of friction, three basic principles are proposed: the law of friction with low velocities, the contact dynamics in general and the determination of the latent features of the surface contact evolution in cyclic and tangential oscillations.



Fig. 3. Evolution of the contact zone of the sample with fluctuations in the scheme of a metal ball (12.7 mm) and a flat surface

The mechanical system with oscillatory friction is non-stationary or heterogeneous. Vibration diagnostics of the working state of nominally-fixed compounds is based on the analysis of vibration for fretting, and the main indicator of the working condition of the connection is the intensity and nature of these processes. The amplitude-frequency characteristic of the vibration signals from the contact pair was determined by the rapid Fourier transform [4,5]. The search for peculiarities in

vibration signals, energy characteristics of micro cracking, long-term trends and trends were determined by wavelet analysis of time series of fretting processes. The key point is that the basic Fourier transform highlights the spectrum of a function, signal, image, etc., but this frequency division is global rather than localized; while the wavelet transform provides the localized frequency decomposition. It provides information not only about what frequency components are present in the signal, but also about when and where they occur.

Consider the results of the wavelet analysis (WA) on the example of the evolution of the frictional force presented in Fig. 4. Application of WA shows that in the mode of full previous displacement there are fluctuations of frictional force (Fig. 4). This is due to the uncertain strength of static friction. In a moment, that

precedes the initial slip, frictional forces become unstable due to the forces of elasticity and inertia. WA for frequencies less than the frequency of forced oscillations shows the evolution of quasi static friction within the limits of nominal adhesion. Most of the vibroactivity is observed at the initial moment of oscillation and in the transition from adherence to slip (Fig. 5).

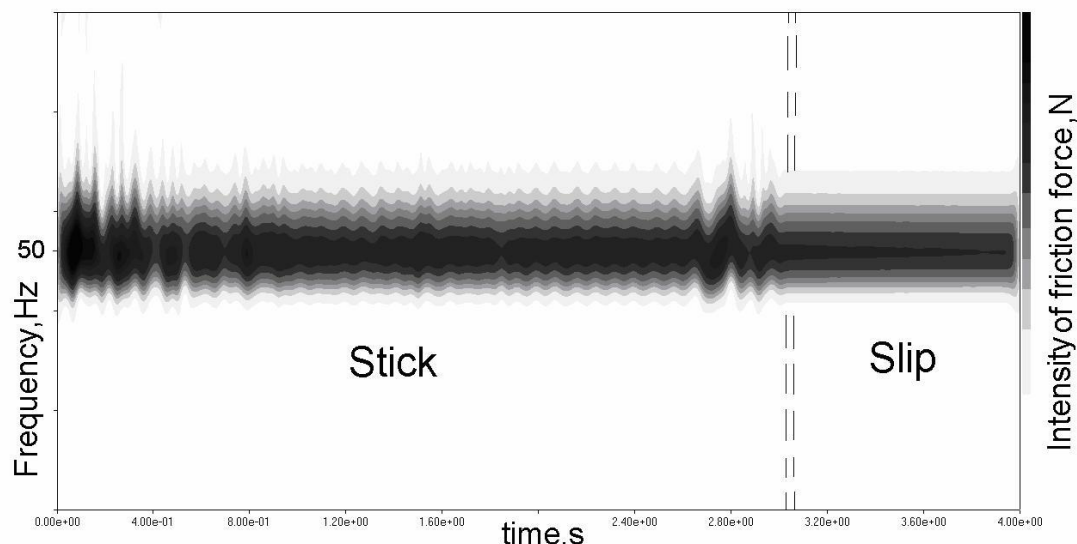


Fig. 4. Wavelet transformation of a time series for friction with its gradual reduction and transition of a contact from sticking to slip. Frequency of excitation of 50 Hz

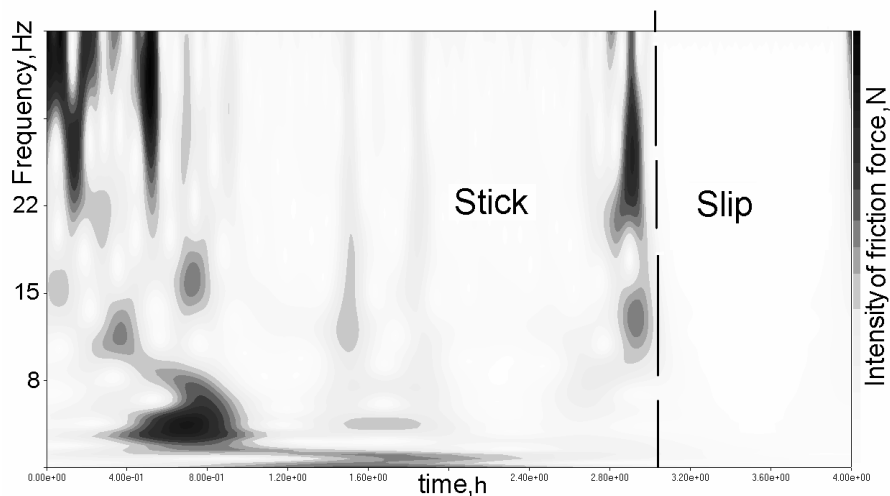


Fig. 5. The intensity of the amplitude-frequency characteristic on the large scale of wavelet transformation

The analysis in the field of small frequencies shows large-scale changes in the process with the amplitude-frequency characteristic of the signal for a fixed time of evolution. Scanning wavelet diagrams for low frequencies determines the quantitative picture of the

vibrational activity of the frictional force at the stage of nominal adhesion and during the transition to slip (Fig. 6).

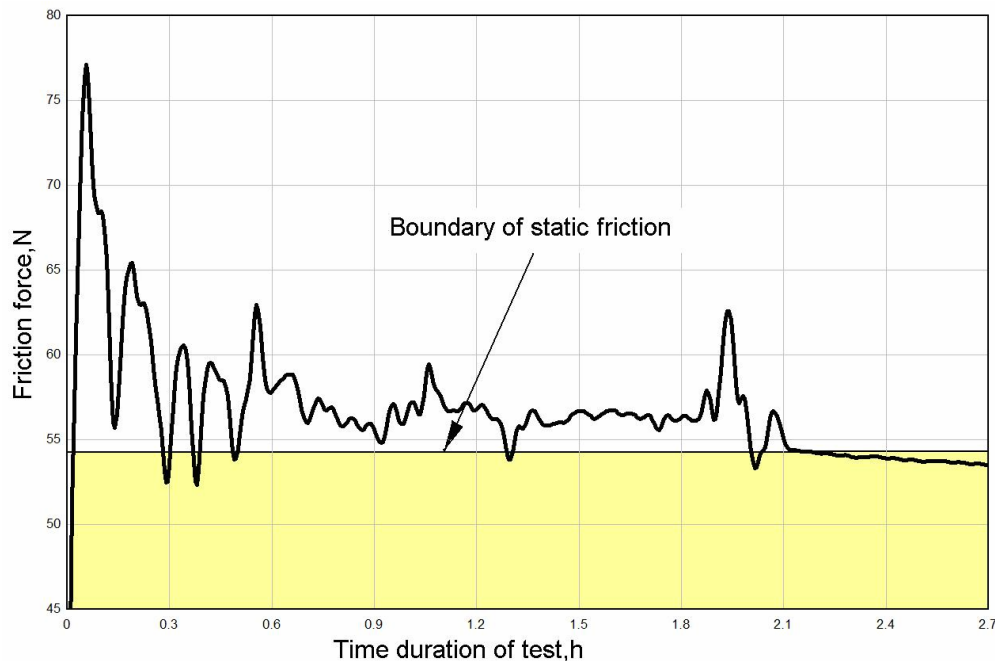


Fig. 6. Evolution of static friction over time

The method of increasing the fretting stability of nominally-fixed compounds by applying a paste on the basis of a low-melting Bi-Sn-Pb-Cd alloy with subsequent melting of a laser beam [6] is proposed, which provides: to create the effect of screening the surface of a solid from the action of the environment, above all diffusion of gases radicals: oxygen, hydrogen and carbon dioxide; reduction of adhesion of contacting surfaces of bodies; creation of conditions for the appearance of liquid friction at separate points; reduction of equivalent stresses in the surface layer; formation of a third body from oxidation products. The impurities in the form of Bi-Sn-Pb-Cd change the diffusion conditions and lead to a change in the rate of the oxidation reaction in the case when the ions of impurities are in-

cluded in the product of the interaction. The introduction of ions of impurities of inert elements in the vacancy of a crystalline lattice leads to a decrease in the concentration of the ion of the matrix in the interstitials, and as a result and to a decrease in the rate of oxidation of the matrix.

Photographic studies of samples were carried out on a metallographic microscope MIM-10. From the analysis of the surface of the samples, it was found that the interaction between the fusible alloy Bi-Sn-Pb-Cd and the surface of the matrix follows the adhesion mechanism. In the photographs it is seen that the grappling of the alloy (dark background) with the surface of the matrix (light background) and the formation of metal joints (Fig. 7).

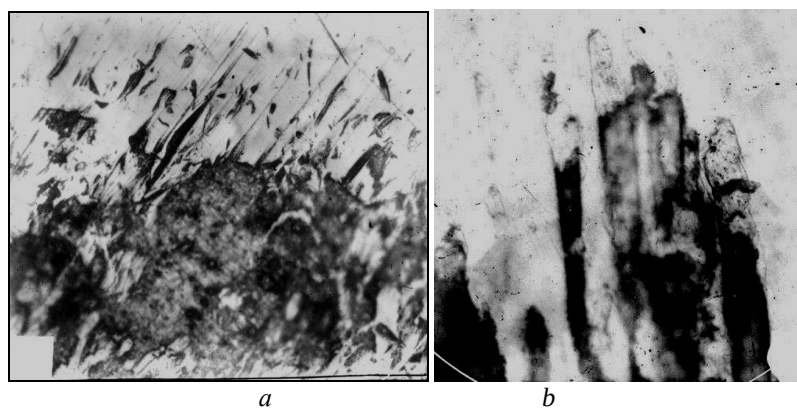


Fig.7. Photos of the surfaces of samples from steel 45 in the presence of a fusible alloy Bi-Sn-Pb-Cd on the surface of a solid after the wear process: a - an increase in the surface area (100: 1); b - an increase in the surface area (250: 1)

In the course of experimental studies, the coefficient of friction of the specimen, which was in nominally and immovable contact with the matrix, was determined, as well as the intensity of wear of the matrix from steel 45 in air and in the presence of a fusible alloy

in the fretting zone at a nominal pressure of 12 MPa, amplitudes of vibrations of 50 μm , counterfilm - tempered steel 45, exam base - $N = 1 \times 10^6$ cycles. Significant coefficient of friction (curve 1, Fig. 8) indicates a high degree of adhesion, and some of its stabilization at

a certain level says that the third body is formed by adhesion wear [7]. The presence of a low-melting alloy significantly reduces the mechanical action during friction-wear, as evidenced by curve 2 (Fig. 8). This pro-

vides a small but constant value of the friction coefficient f , which is set after the spin (Fig. 8). Fig. 9 shows the intensity of wear of steel 45 under different conditions.

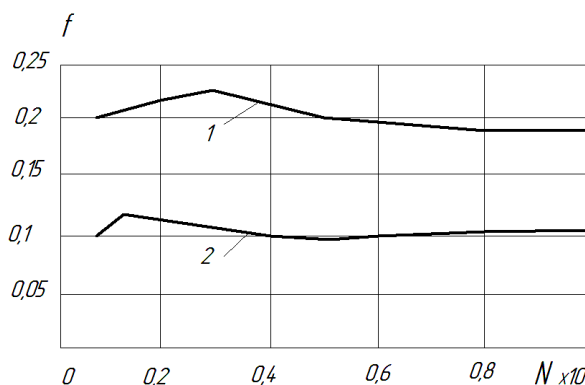


Fig. 8. Change in the coefficient of friction during fretting: 1 - steel 45 in the air;

2 - in the presence of a fusible alloy in the friction zone

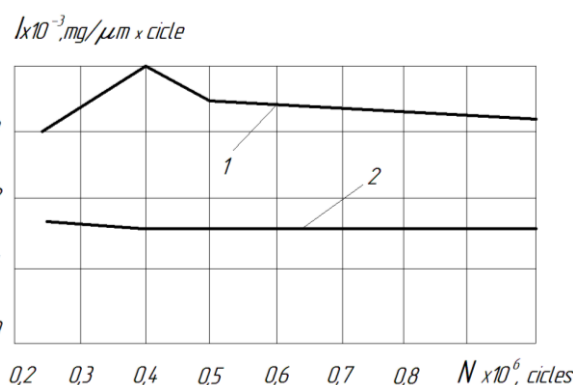


Fig. 9. Intensity of wear of steel 45: 1 - in air; 2 - in the presence of a fusible alloy in the friction zone

As a result of the conducted researches it was established that in the presence of a fusible alloy in the fretting zone, the wear rate decreases two to three times in comparison with friction without an alloy due to the presence of a fusible alloy in the fretting zone and is achieved by a significant decrease in the diffusion of active radical gases in the surface solid body.

Thus, in the presence of a fusible alloy in the fretting zone, a significant resistance to adhesion of the juvenile surfaces and oxidation wear will be provided.

Conclusions

Analysis of the results of wavelet transformation made it possible to identify those barely noticeable changes in the nature of the relative motion of surfaces in the diagnosis of nominally-fixed compounds. It is important that the time series analysis can be carried out at different time scales in order to find out the tendencies in the long-term evolution at low frequencies and operate on a smaller scale at high frequencies.

The wavelet analysis complex has shown the existence of a frictional contact, which is set at the boundary of transition from static friction to kinematic and is classified as dynamic clutch-slip mode (see Fig. 4, Fig. 5). In the areas of clutch, with the corresponding number of load cycles, there is a bundle of individual sections of the surface (see Fig. 3), and the transformation of the frictional force (Fig. 6) in the slip zone leads to a change in the quantitative characteristics of the dynamic motion of the system, in other words, to loosening from unification.

The results of experimental studies have shown that when the contact surfaces of the Bi-Sn-Pb-Cd separated by a low-melting alloy are reduced by a factor of two, the friction coefficient decreases twice and the

wear rate is two to three times as compared to non-alloy friction.

Bibliography

1. Shevela V.V. Fretting-fatigue of metals / V.V. Shevela G.S. Calda. - Khmelnytsky: Podillya, 1998. - 299 p.
2. Shalapko Yu.I. Concealment of fretting processes in automobile vehicle combinations and their impact on the safety of operation / Yu.I. Shalapko, A.L. Hansiuk, M.A. Razuvaev // Visn. Khmelnytsky nats unth Techn. science - 2010. - №5. - pp.165-169.
3. Shalapko Yu.I. Evolutionary models of fringing process in a nominally-immovable friction contact: author's abstract. dis for obtaining a doctorate degree. tech Sciences / Yu.I. Shalapko - Khmelnytsky, 2009. - 48 p.
4. Shalapko Yu.I. Activation of Fringing Processes in the Field of Microsplacing of Contacting Surfaces / Yu. I. Shalapko, V.S. Kurskoye // Bulletin of the Khmelnytsky National University. - 2008. - No. 2. - pp. 168-173.
5. Shalapko Y. Wavelet-analysis for control of contact vibration with friction and fretting-process / Y. Shalapko, A. Hanzhuk, W. Kurskoy// Proc. 8-th Conf. Active noise and vibration control methods, Krasieczyn, Poland, 2009. - pp. 114-115.
6. Pat. to utility model 119407 of Ukraine, IPC B23K 25/00. Device for drawing on a threaded surface of metal details of a low-melting alloy / A.L. Hansiuk, V.P. Aleksandrenko A.I. Gordeyev; - u 2016 03190; Application 04/03/2017; Pubwished Sep 25, 2011, Bul. No. 18. - 6 p.
7. Kostogriz S.G. Theoretical aspects of the use of low-melting alloys for the suppression of fringing-corrosion / S.G. Kostogriz, Yu.I. Shalapko, A.L. Hansiuk // Bulletin of Technological Unions. Podillya - 1998. - №4. Part 2. - pp. 80-82.

Styoshka V.V.

*Candidate of Technical Sciences,
Director of Granbud Leader LLC*

Стьожка В.В.

*кандидат технічних наук,
директор ТОВ «Гранбуд Лідер»*

ENHANCING THE COLLISION OF ASPHALT CONCRETE COATING BY USING NEW CONSTRUCTION SOLUTIONS, MATERIALS AND TECHNOLOGICAL APPROVALS

ПІДВИЩЕННЯ КОЛІЄСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ, МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ

Abstract. The article was devoted to studying the issues of increasing the collision resistance of asphalt concrete coatings and determining ways to increase it.

Key words: *wheelbase, asphalt concrete, new materials, technological techniques.*

Анотація. У статті було проведено вивчення питань з підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття і визначення шляхів його підвищення.

Ключові слова: *колієстійкість, асфальтобетон, нові матеріали, технологічні прийоми.*

Вступ. У зв'язку з різким ростом інтенсивності дорожнього руху і появою автомобілів великої вантажності і з осьовим навантаженням 11,5 т на автомобільних дорогах, особливо у літній період року, спостерігається різкий ріст пластичних деформацій, у тому числі і колії. Підвищення колієстійкості асфальтобетонних покриттів є актуальним питанням.

Основна частина. Сучасні рішення з підвищення колієстійкості дорожнього одягу поділяються на два основних напрямки – конструктивний та матеріалознавчо-технологічний [1]:

- конструктивний – спрямований на раціональне конструювання дорожнього одягу з метою зниження розтягуючих напружень в шарах дорожнього одягу та підвищення довговічності;

- матеріалознавчо-технологічний – спрямований на регулювання складу і властивостей матеріалів з метою підвищення міцності і витривалості та застосуванні нових матеріалів і технологій для підвищення довговічності.

До конструктивного напрямку підвищення колієстійкості дорожнього одягу відносять такі [1 – 3]:

- збільшення зсувостійкості дорожніх покриттів;
- збільшення жорсткості основ дорожнього одягу;
- застосування синтетичних сіток;
- забезпечення зчеплення між шарами дорожнього одягу.

Згідно ВБН В.2.3-218-186 [4] при конструюванні дорожнього одягу нежорсткого типу необхідно керуватися наступними принципами:

а) тип дорожнього одягу та вид покриття, конструкція дорожнього одягу в цілому повинні задовольняти транспортно-експлуатаційним вимогам, які ставляться до дороги певної категорії з очікуваним у перспективі складом та інтенсивністю руху, з урахуванням зміни інтенсивності протягом заданих міжремонтних термінів і передбачуваних умов

ремонту та утримання;

б) конструкція одягу може бути прийнята типовою чи розроблена індивідуально для кожної ділянки або ряду ділянок дороги, що характеризуються подібними природними умовами (грунт робочого шару земляного полотна, умови його зволоження, клімат, забезпеченість місцевими дорожньо-будівельними матеріалами і т. ін.) з однаковими розрахунковими навантаженнями. При виборі конструкції дорожнього одягу для даних умов перевагу варто віддавати перевіреним на практиці в даних умовах типовій конструкції;

в) у районах, недостатньо забезпечених стандартними кам'яними матеріалами, допускається (при відповідному обґрунтуванні) застосовувати місцеві кам'яні матеріали, побічні продукти промисловості та ґрунти, властивості яких можуть бути поліпшені шляхом обробки їх в'язкими матеріалами (цемент, бітум, вапно, активні золи віднесення і т. ін.) Одночасно треба прагнути до створення конструкції по можливості найменш матеріалоємної [2, 3];

г) конструкція повинна бути технологічною та забезпечувати можливість максимальної механізації та автоматизації дорожньо-будівельних процесів. Для досягнення цієї мети кількість шарів і видів матеріалів у конструкції повинна бути мінімальною;

д) при конструюванні необхідно враховувати реальні умови проведення будівельних робіт (літня чи зимова технологія і т. ін.) і досвід служби доріг у конкретно заданому районі.

При призначенні видів покриття та основ для різних варіантів конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу слід враховувати положення діючих стандартів і норм на дорожньо-будівельні матеріали і вироби та норми проектування автомобільних доріг [2].

При виборі матеріалів для влаштування шарів дорожнього одягу нежорсткого типу необхідно враховувати такі положення:

а) покриття і верхні шари основи повинні відповідати проектним навантаженням і бути зсувостійкими;

б) конструкція дорожнього одягу повинна забезпечувати підвищений опір зсуву при високих літніх температурах. Для забезпечення цієї вимоги в покритті передбачають застосування тільки зсувостійких асфальтобетонних сумішей типу А, щільних сумішей та щебенево-мастиковий асфальтобетон, а в основі – крупнозернистих асфальтобетонних сумішей або кам'яних матеріалів, укріплених цементом [5].

При виборі матеріалу для верхнього шару основи треба враховувати категорію дороги, тип покриття, а також і те, що шари, які містять органічне в'язуче, мають кращі деформаційні якості і теплофізичні властивості, ніж матеріали та ґрунти, укріплені неорганічними в'язучими. Однак, матеріали, що містять органічне в'язуче, дуже чутливі до високої температури, за якої зменшується їх зсувостійкість, чи мінусової температури, що призводить до проявлення їхньої крихкості.

На магістральних дорогах з важким і швидкісним рухом, основи потрібно влаштовувати переважно з укріплених матеріалів.

Товщину шарів з матеріалів, що містять органічне в'язуче та укладених на верхній шар основи із матеріалів, укріплених цементом, для обмеження появи «відбитих» тріщин на покритті потрібно приймати не меншою за товщину шарів, укріплених цементом. При цьому мінімальна товщина шарів з органічним в'язучим не повинна бути меншою за 12 см для полегшених покриттів і 16-18 см для капітальних.

У випадку застосування матеріалів, укріплених комплексними в'язучими, а також такими, що повільно твердіють і гідралічними в'язучими, товщина шару може бути знижена на 20 %, в умовах спекотних і сухих районів дорожньо-кліматичної зони У-IV – на 30 %; на дорогах IV категорії з покриттями з чорних сумішей товщина шару покриття може скласти 6-8 см.

Необхідно передбачати в конструкціях дорожнього одягу нежорсткого типу можливо меншу кількість шарів (2 – 4 без урахування додаткових шарів) з різних матеріалів, використовуючи як основу пористий асфальтобетон, маломіцний цементобетон, ґрунти й матеріали укріплені в'язучими. В окремих випадках, коли це технічно та економічно доцільно, слід призначати і більшу кількість шарів дорожнього одягу.

Товщину окремого шару попередньо призначають у діапазоні від мінімальної конструктивної товщини, регламентованої діючими нормами [2], до практично прийнятих значень (наприклад, у типових проектах) для даного регіону.

Якщо загальна товщина дорожнього одягу, отримана з розрахунку на міцність, менша за товщину, встановлену за морозостійкістю, то слід передбачити додаткові морозозахисні чи теплоізоляційні шари. У цьому випадку конструкцію основи дорожнього одягу потрібно призначати одночасно

з проектуванням морозозахисних чи теплоізоляційних і дренажних шарів [2, 4, 6].

Товщину покриття удосконаленого типу слід призначати такою, щоб розтягуючі напруження, що діють в його найбільш напруженій зоні, не перевищували допустимих згідно ВБН В.2.3-218-186 [4]. Дорожній одяг нежорсткого типу.

Максимальні напруження при згині виникають, якщо модулі пружності суміжних шарів відрізняються в 10 і більше разів. Тому модулі пружності суміжних шарів повинні відрізнятися не більше, ніж у 3 – 5 разів.

У процесі будівництва повинно бути забезпечене надійне зчеплення шарів із монолітних матеріалів.

Товщину покриття перехідного типу треба визначати розрахунком згідно ВБН В.2.3-218-186 [4] так, щоб пружний прогин поверхні одягу не перевищував допустимого.

Товщини проміжних шарів одягу з удосконаленим покриттям слід призначати такими, щоб під дією розрахункових навантажень у монолітних шарах основи з матеріалів, укріплених неорганічними в'язучими, полімерними чи в'язкими органічними в'язучими, а також комбінованими в'язучими, розтягуючі напруження при згині не перевищували допустимих, а в зернистих і малозв'язних матеріалах (гравій, пісок, суміші на основі рідких органічних в'язучих і т. ін.) не виникали б неприпустимі деформації зсуву.

Для капітальних дорожніх одягів товщину асфальтобетонного покриття, що влаштовується з порівняно дорогих матеріалів, слід призначати близькою до мінімальної конструктивної, верхній шар основи капітальних дорожніх одягів потрібно влаштовувати головним чином з монолітних матеріалів – з пористого асфальтобетону, щебених сумішей, оброблених бітумною емульсією, фракційного щебеню, обробленого в'язким бітумом шляхом просочення, а також із фракційного щебеню, влаштованого за принципом розклинки дрібним щебенем чи гранульованим активним шлаком, укріпленого методом просочення цементопіщаною сумішшю.

Для влаштування нижньої частини основи, в залежності від розрахункових умов руху, слід надавати перевагу монолітним (укріплені ґрунти і кам'яні матеріали) та зернистим матеріалам, що відповідають вимогам [1, 4].

До матеріалознавчо-технологічних напрямів підвищення колієстійкості дорожнього одягу відносяться такі:

- забезпечення однорідності товщини шарів дорожнього одягу;
- застосування у покриттях зсувостійких асфальтобетонів в тому числі щебенево-мастикового;
- модифікування бітумів термоеластопластичними та термопластичними полімерами, адгезійними добавками;
- використання в основах конструкцій матеріалів, укріплених в'язучими, в т.ч. цементом;
- використання сучасної дорожньо-будівельної техніки;

– забезпечення оптимальних температурних режимів при приготуванні та укладанні асфальтобетонних сумішей та матеріалів, оброблених органічними в'язучими.

Для підвищення міцності асфальтобетону при згині, а також його зносостійкості, корозійній стійкості до дії атмосферних факторів, тріщиностійкості при низьких температурах та зсувостійкості при високих температурах необхідно приймати спеціальні заходи з регулювання властивостей вихідних компонентів асфальтобетонної суміші, її складу:

- армування асфальтобетону [5];
- створення необхідних умов контакту асфальтобетонного покриття з основою (забезпечення надійного зчеплення, або, навпаки, гладкого контакту між ними);
- забезпечення необхідної товщини покриття;
- вибору виду і правильного визначенню товщини основи.

Висновки

Виконана робота дозволяє виявити причини утворення колії та розробити заходи щодо запобігання колієутворення на дорожніх покриттях, підвищити температуростійкість асфальтобетонних покриттів, розробити конструкції дорожніх одягів стійких до пластичних деформацій, підвищеної довговічності та міцності. В кінцевому результаті виконана робота сприяє поліпшенню експлуатаційного стану доріг та підвищенню безпеки руху.

Для підвищення довговічності асфальтобетонного покриття рекомендується при приготуванні асфальтобетонних сумішей використовувати термопластичні або термоеластопластичні полімери,

адгезійні добавки, застосовувати зсувостійкі асфальтобетони, наприклад, щебенево-мастиковий асфальтобетон та армування синтетичними сітками.

Література

1. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Лапченко А. С. Методика розрахунку колієстійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням укріплення основи // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2015. Вип. 93. С. 67-78.
2. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво
3. Радовский Б.С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд. К.: ООО «ПолиграфКонсалтинг», 2003. – 240 с.
4. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу
5. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. Експериментальний аналіз впливу мікрОВОЛОКОН на підвищення тріщиностійкості та колієстійкості асфальтобетонного покриття випробуваного на кільцевому стенді // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2013. Вип. 88. С. 89-100.
6. Мозговий В. В., Онищенко А. М., Лаптева Н. С., Невінгловський В. Ф. Експериментальна оцінка колієстійкості асфальтобетону за допомогою лабораторних установок // Автошляховик України. 2010. № 13. С. 93-100.

Skropysheva Olena Vitalivna

candidate of technical sciences, associate professor

Department of Chemical Technology, Expertise and Food Safety

Kherson National Technical University

Hnidets Vasyl Petrovich

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Department of Chemical Technology, Expertise and Food Safety

Kherson National Technical University

Kuligin Mikhail Lvovich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Department of Chemical Technology, Expertise and Food Safety

Kherson National Technical University

Скروطишева Олена Віталівна

кандидат технічних наук, доцент

кафедри хімічних технологій, експертизи та безпеки харчової продукції

Херсонський національний технічний університет

Гнідець Василь Петрович

кандидат хімічних наук, доцент

кафедри хімічних технологій, експертизи та безпеки харчової продукції

Херсонський національний технічний університет

Кулігін Михайло Львович

доктор технічних наук, доцент

кафедри хімічних технологій, експертизи та безпеки харчової продукції

Херсонський національний технічний університет

QUALITY ASSESSMENTS OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CANDIDES AND XANTANES FOR SOLVING NITROGEN FOOD PRODUCTS

ЯКІСНІ ОЦІНКИ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОЗЧИНІВ КАМЕДЕЙ ТА КСАНТАНУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ НИЗЬКОКАЛОРИЙНИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

Summary. The rheological and thixotropic properties of gum solutions and the synergistic effect of the use of gum compositions with the purpose of creating low-calorie food products are investigated. The influence of technological conditions (temperature, pH) on their properties was studied. The rheological dependences of the viscosity of solutions on the qualitative and quantitative composition of the compositions and technological conditions are constructed. It is determined that the use of gum compositions opens prospects for the creation of low-calorie products.

Keywords: rheological properties, thixotropic properties, xanthan, guar gum.

Анотація. В статті досліджено реологічні та тиксотропні властивості розчинів камедей та синергічний ефект від використання композицій камедей з метою створення низькокалорійних продуктів харчування. Досліджено вплив технологічних умов (температури, рН середовища) на їх властивості. Побудовано реологічні залежності в'язкості розчинів від якісного і кількісного складу композицій та технологічних умов. Визначено, що використання композицій камедей відкриває широкі перспективи створення низькокалорійних продуктів харчування.

Ключові слова: реологічні властивості, тиксотропні властивості, гуарова камідь, ксантан.

Аннотация. В статье исследованы реологические и тиксотропные свойства растворов камедей и синергический эффект от использования композиций камедей с целью создания низкокалорийных продуктов питания. Исследовано влияние технологических условий (температуры, рН среды) на их свойства. Построены реологические зависимости вязкости растворов от качественного и количественного состава композиций и технологических условий. Определено, что использование композиций камедей открывает широкие перспективы создания низкокалорийных продуктов питания.

Ключевые слова: реологические свойства, тиксотропные свойства, гуаровая камедь, ксантан.

Постановка проблеми. Останнім часом з урахуванням вимог науки про харчування отримало інтенсивний розвиток виробництво низькокалорійних продуктів та продуктів для людей, які страждають рядом захворювань (в першу чергу цукровим діабетом). Це зумовило розширення випуску продуктів зі зниженою харчовою та енергетичною цінністю за рахунок заміни компонентів харчових продуктів (наприклад крохмалю) речовинами, які дозволяють знизити вміст жирів та вуглеводів без погіршення органолептичних та смакових властивостей продукту. Широкі перспективи в цьому напрямку відкривають харчові добавки, а саме речовини, що змінюють структуру та фізико-хімічні властивості харчових продуктів [1, с.179; 2, с.43; 3, с. 93; 4, с. 185]. Це, зокрема, загусники і гелеутворювачі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Харчові загусники – це харчові добавки, здатні підвищити в'язкість харчового продукту. Вони зберігають і поліпшують структуру харчового продукту, дозволяють отримувати продукти з потрібною консистенцією, що покращує смакове сприйняття (так званий ефект mouthfeel). Завдяки здатності збільшувати в'язкість водних середовищ загусники стабілізують дисперсні системи: суспензії, емульсії та піни.

Загусники є гідро колоїдами. Їх молекули завдяки особливостям своєї структури і численним

полярним групам, особливо гідроксильним, додані до харчового продукту, вступають у взаємодію з наявною в ньому водою. Полярні молекули води розташовуються при цьому навколо полярних груп загусника [1, с.179].

Завдяки сольватації, яка часто супроводжується розкручуванням молекули, рухливість молекул води обмежується, а в'язкість розчину зростає. Макромолекули, які при набуханні частково або повністю переходять у витягнутий стан, найбільшою мірою збільшують в'язкість, так як гідродинамічний опір довгих витягнутих полімерних ланцюгів є найбільшим. В'язкість зростає експоненціально зі збільшенням довжини ланцюга.

Найпоширенішу групу загусників складають полісахариди, які є продуктами поліконденсації вуглеводів і побудовані із залишків моносахаридів. У рослинах вуглеводи утворюються із вуглекислого газу і води за рахунок реакції фотосинтезу. Тваринний організм не здатний сам до фотосинтезу вуглеводів і тому повністю залежить від рослин як постачальників вуглеводного харчування. Мікроорганізми, за деяким винятком, теж не здатні до фотосинтезу вуглеводів і змушені отримувати цей вид харчування із зовнішнього середовища. Полісахариди – обов'язкові компоненти всіх організмів і є переважаючим матеріалом рослинного світу. Саме тому вони становлять основну масу органічної речовини на землі, за винятком «мінеральної» органіки (нафта і газ) [5, с.127; 6, с.158].

За своїм походженням камеді поділяють на ботанічні та мікробні. До ботанічних відносяться такі камеді як камідь карайї, гхатті, гуарова камідь, камідь ріжкового дерева, аравійська камідь (гуміарабік).

Мікробні полісахариди – це ксантанова і гелланова камеді. Хімічний склад камедей неоднорідний: вони відносяться до гетерополісахаридів (гексозани, пентазани, поліуроніди).

Виділення невирішених частин проблеми. Найбільшу популярність отримали продукти на основі ксантану, позаклітинного полісахариду бактерії *Xanthomonas Campestris*, що випускаються під різними торговими марками: Rhodopol-23P,

Zibozan, Flowzan, Flo-Vis та ін. Ксантан (ксантанова смола, ксантанова камедь, ксантанова гума) виробляється мікробіологічним способом в гідрокарбонатному середовищі з добавкою протеїну і неорганічного азоту [7, с.4]. Цей біополімер – позаклітинний полісахарид, що утворюється на поверхні бактерії. Зброжене живильне середовище пастеризують для видалення мікробів, осаджують спиртом або очищують методом мікрофільтрації.

Камеді мають натуральну рослинну природу і можуть додаватися до великого спектру харчових продуктів для стабілізації харчових систем та покращення їх зовнішнього вигляду [2, с.51]. Крім того, зважаючи на природне походження та відсутність негативного впливу на організм людини, камеді можуть використовуватися для виробництва низки харчових продуктів, зокрема низькокалорійних, а також у фармакології.

Камеді можуть використовуватися при виробництві майонезів та інших емульгованих соусів, маргарину, морозива, кетчупу і аналогічних продуктів, білково-жирових емульсій, ліверно-паштетних виробів, варених ковбас [2, с.51; 8, 5; 9, с.4]. Ксантанову камедь, що має ніжний маслянисто-вершковий смак, доцільно додавати в дієтичні продукти з низьким вмістом жиру.

Формулювання цілей статті. Дослідити реологічні та тиксотропні властивості розчинів камедей та синергічний ефект від використання композицій гуарової камеді та камеді ксантану з метою створення низькокалорійних харчових продуктів.

Матеріали і методи. Реологічні властивості розчинів гуарової камеді та камеді ксантану [7, с.4] і їх сумішей визначали на ротаційному вискозиметрі «Реотест 2» [10, с.55; 11, с.85].

Виклад основного матеріалу. Соус (від фр. Sauce – підлива) – рідка приправа до основної страви і/або гарніру. Соуси надають більш соковиту консистенцію стравам і підвищують їх калорійність. Багато соусів містять спеції і смакові ре-

човини, які діють збудливо на органи травлення; яскраве забарвлення соусів вигідно відтіняє колір основних продуктів страви.

Одним із найрозповсюдженіших соусів є томатний, який ще часто називають кетчупом. Такі соуси готуються на основі томатів і/або томатних продуктів з додаванням солі, цукру (або цукрозамінників), прянощів і пряно-ароматичних рослин, з додаванням або без додавання овочів, фруктів, грибів, горіхів, рослинного масла, харчових кислот, загусників, стабілізаторів, барвників, харчових ароматизаторів, смако-ароматичних препаратів і консервантів.

Попередніми дослідженнями було встановлено [11, с.71], що томатна паста погано відновлює свою структуру після механічного втручання (перемішування) та не володіє тиксотропними властивостями. Введення в томатні соуси загусників сприяє стабілізації реологічних та тиксотропних властивостей продукту та забезпечує їх хороші споживчі властивості.

В той же час слід відзначити, що використання в якості загусника крохмалю призводить до підвищення калорійності соусів, відповідно і до підвищення калорійності страв до яких вони додаються. З метою вирішення цієї проблеми є доцільним використання в якості загусників сполук, що не підвищують енергетичної цінності продукту, а саме камедей.

Відомо, що головною характеристикою желуючої здатності камедей є структурна в'язкість отриманих водних гелів. Тому метою роботи було дослідження залежності структурної в'язкості дисперсних систем на основі ксантану від його концентрації. Крім того, важливо було перевірити, чи володіють ксантанові розчини тиксотропними властивостями, тобто здатністю відновлювати початкову структуру, зруйновану механічною дією. Для дослідження були приготовані зразки з різною концентрацією досліджуваного загусника – ксантанової камеді (табл. 1).

Таблиця 1.

Органолептичні властивості розчинів ксантану

Розчин ксантану, %	Зовнішній вигляд	Колоїдна стабільність	Термостабільність	pH
0,2	Слабко-в'язка желеподібна прозора не липка маса світлого кольору	Стабільна	Стабільна	6
0,5	«-»	«-»	«-»	6
0,7	«-»	«-»	«-»	6
1	Більш в'язка желеподібна не липка маса, світлого кольору	«-»	«-»	6
1,2	«-»	«-»	«-»	6
1,5	«-»	«-»	«-»	6
1,7	«-»	«-»	«-»	6
2	В'язка желеподібна не липка маса, дуже добре наноситься і розмазується	«-»	«-»	6
2,3	«-»	«-»	«-»	6
2,5	«-»	«-»	«-»	6
2,7	«-»	«-»	«-»	6
3	Дуже в'язка грудкоподібна липка маса світло-жовтого кольору	«-»	«-»	6

Як видно з даних таблиці 1, рН всіх експериментальних зразків лишалася незмінною і дорівнювала – 6, але зовнішній вигляд зразків змінювався з підвищенням концентрації ксантану. Зразки 1–2 були недостатньо густими, а зразок 12 представляв собою густу грудкоподібну масу, яка мала високу в'язкість, але була занадто липкою, утворювала плівку, тому для подальшого дослідження його не

брали.

Крім органолептичних показників приготованих розчинів було досліджено також їх реологічні властивості. Результати досліджень реологічних властивостей ксантанових розчинів різної концентрації від величини швидкості зсуву у логарифмічних координатах представлені на рис. 1–4.

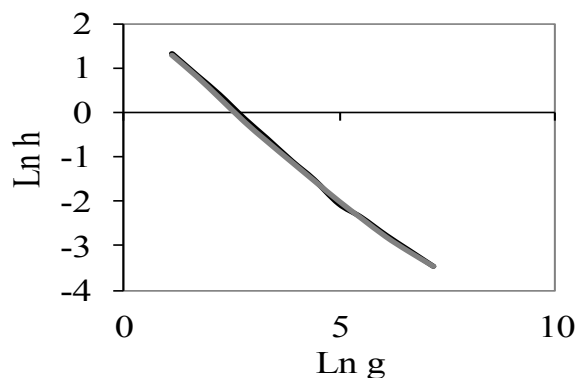


Рис.1. Реологічні властивості 1% розчину ксантану

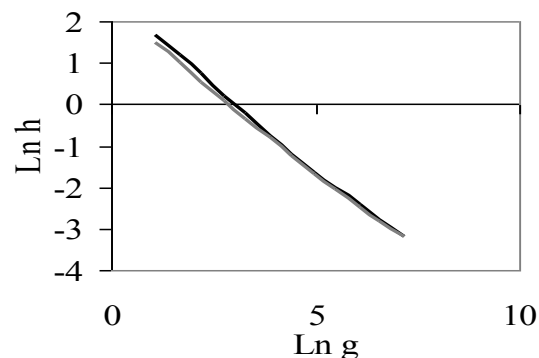


Рис.2. Реологічні властивості 1,5% розчину ксантану

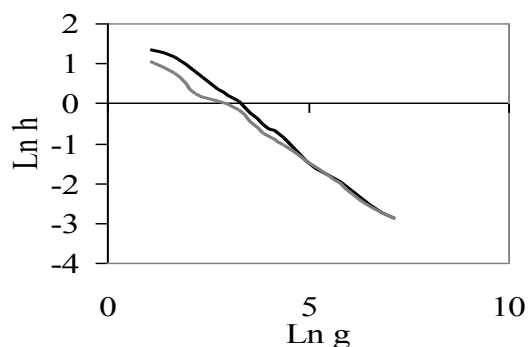


Рис.3. Реологічні властивості 2% розчину ксантану

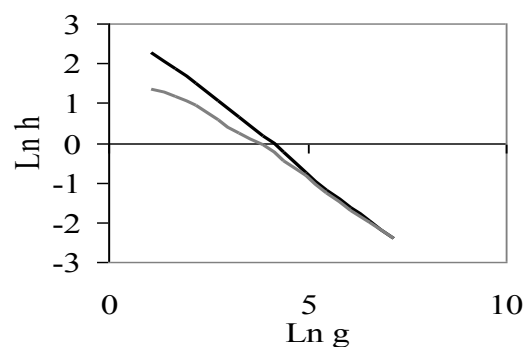


Рис.4. Реологічні властивості 2,7% розчину ксантану

Як видно в'язкість досліджуваних зразків збільшувалася із зростанням концентрації загусника, причому дані зразки мали гарні споживчі характеристики – добре і легко наносилися і намазувалися, не були липкими і не розшаровувалися при зберіганні. В стані спокою молекули ксантану швидко відновлювали первинну просторову полімерну структуру, а отже здатні забезпечувати харчовим системам постійну в'язкість.

В той же час, використання концентрації ксантану вище 1,5 % призводить до проявлення псевдопластичної рідинної реології – властивості, за якої в'язкість рідини зменшується при збільшенні зу-

силля зсуву. Крім того підвищення концентрації супроводжується здорожчанням кінцевого продукту. Отже використовувати концентрацію ксантану вище 1,5 % недоцільно.

Очевидно, що консистенція згущеного продукту повинна якомога менше залежати від температури. У більшості випадків підвищення або сильне пониження температури призводить до значного погіршення реологічних показників. Результати досліджень впливу технологічних операцій та рН на реологічні властивості 1% ксантанових розчинів від величини швидкості зсуву у логарифмічних координатах представлені на рис. 7-8.

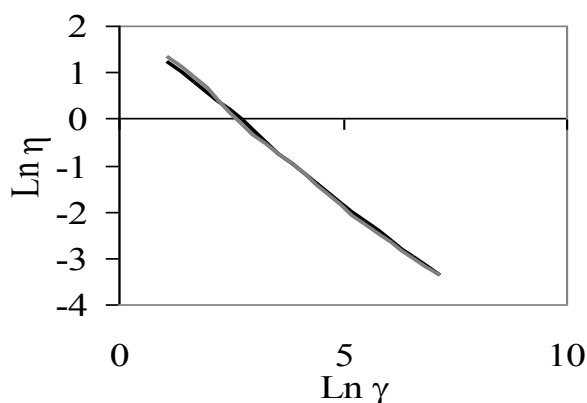


Рис. 5. Реологічні властивості 1% розчину ксантану після циклу заморожування–розморожування

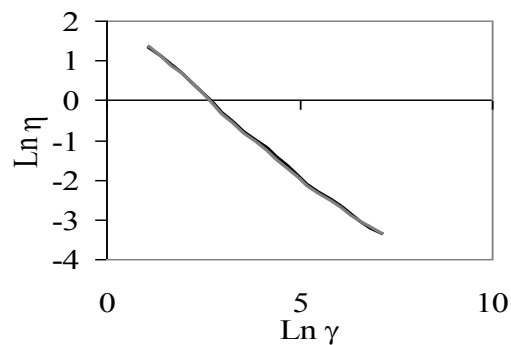


Рис. 6. Реологічні властивості 1% розчину ксантану після нагрівання до 92 °C

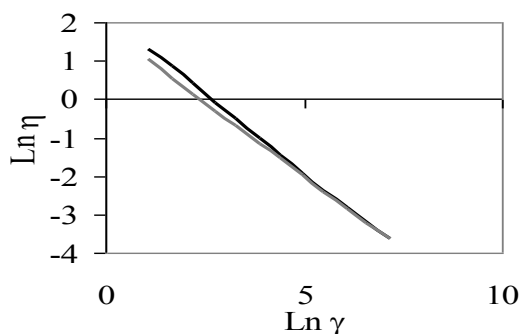


Рис.7. Реологічні властивості 1% розчину ксантану при pH=8

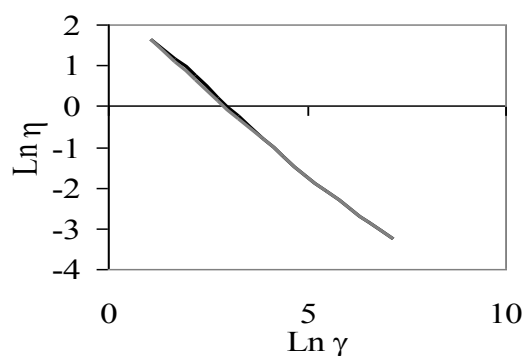


Рис.8. Реологічні властивості 1% розчину ксантану при pH=3

Як видно з наведених рис. 5-8 гелі на основі ксантану володіють стабільною в'язкістю та здатністю відновлювати свою структуру після механічного втручання, практично нечутливі до зміни температури і добре переносять цикли «заморожування–розморожування» (-18°C) та пастеризацію (92°C). Крім того в'язкість камеді зберігається при досить значній зміні pH середовища. Максимальну в'язкість можна отримати при доведенні pH до рівня 6,0–7,0.

Один з найбільш ефективних підходів до створення високоактивних, селективних, функціональних систем в технології харчових продуктів це використання ефекту синергізму [13, с.142; 14, с.149].

Синергізм або синергічний ефект – це взаємодія двох або більше факторів, що характеризується тим, що їх спільна дія істотно перевершує ефект кожного компонента окремо (примножуючий ефект).

Синергізм компонентів харчових систем може проявлятися простим підсумовуванням або потенціюванням ефектів. Ефект підсумовування (адитивний) спостерігається при простому додаванні окремих ефектів кожного з компонентів. Якщо при введенні декількох речовин їх загальний ефект перевищує (іноді істотно) суму ефектів окремих речовин, це свідчить про потенціювання (істинний синергізм).

Відомо, що більшість гідроколоїдів володіють синергізмом по відношенню один до одного, тобто при комплексному використанні здатні посилювати індивідуально притаманні властивості. Ксантанова камедь проявляє синергізм по відношенню до більшості загусників і структуроутворювачів.

Результати досліджень сумішей різного складу на основі розчинів гуарової та ксантанової камедей на їх реологічні властивості представлені на рис. 9-12.

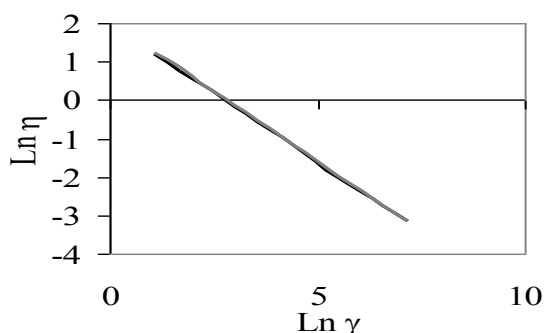


Рис.9. Реологічні властивості 1% розчину гуару

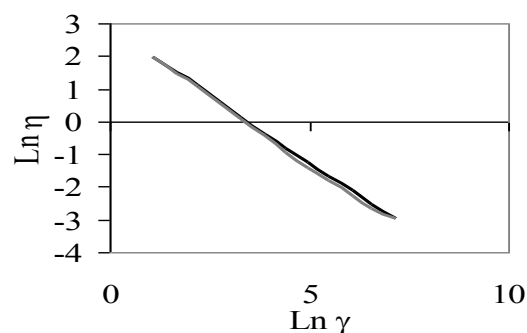


Рис.10. Реологічні властивості суміші розчинів 1% ксантану та 1% гуару (1:1)

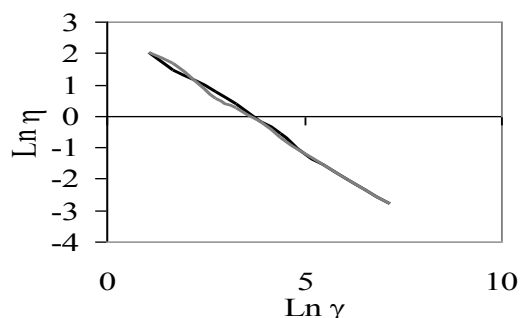


Рис.11. Реологічні властивості суміші розчинів 1% ксантану та 1% гуару (2:1)

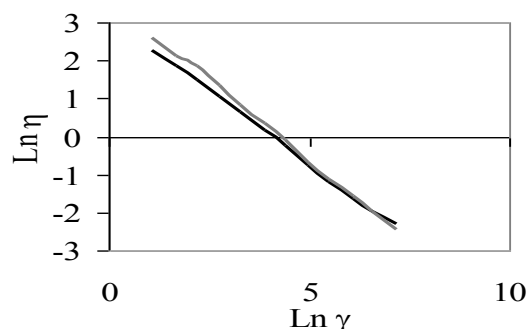


Рис.12. Реологічні властивості суміші розчинів 1% ксантану та 2% гуару (1:1)

Як бачимо з наведених даних, гуарова камідь, як і ксантанова, має стабільну в'язкість та здатність відновлювати свою структуру після механічного втручання. 1%-ий розчин суміші гуару та ксантану у співвідношенні 1:1 є досить в'язким та пластичним, 1%-ий розчин суміші гуару та ксантану у співвідношенні 2:1 є в'язким та псевдопластичним, проте здатність відновлювати свою структуру після механічного втручання нижча, аніж у суміші 1%-го розчину камедей у співвідношенні 1:1.

Висновки. В результаті проведених досліджень було встановлено, що:

1. Гелі на основі ксантану мають стабільну в'язкість і здатні відновлювати свою структуру після перемішування, практично нечутливі до зміни рН і добре переносять цикли «заморожування–розморожування» (-18°C) та пастеризацію (92°C).
2. В'язкість досліджуваних зразків збільшувалася із зростанням концентрації загусника і зберігається при значній зміні рН середовища. Максимальну в'язкість можна отримати при рН 6,0–7,0. В стані спокою молекули ксантану швидко відновлювали первинну просторову полімерну структуру, а отже здатні забезпечувати харчовим системам високу кінцеву в'язкість.
3. Додавання розчину гуарової камеді до розчинів камеді ксантану сприяє підвищенню в'язкості.
4. Ксантанова камідь проявляє найкращі синергічні властивості у суміші із гуаровою камеддю при концентрації 1% і співвідношенні 1:1. Таким чином показана можливість використання 1%-вих розчинів ксантанової камеді в суміші з гуаровою у

співвідношенні 1:1 для приготування томатних соусів та кетчупів.

Список літератури

1. Dickinson E. Microgels – An alternative colloidal ingredient for stabilization of food emulsions // Trends in Food Science & Technology. 2015. Т. 43, № 2. С. 178-188.
2. Ферт К. Уайтхауз М. Выбор и использование гидроколлоидов // Пищевая промышленность. 2008. № 10. С. 76.
3. Novel food processing: effects on rheological and functional properties / Ahmed J. et al. (ed.). CRC Press, 2016. 168 с.
4. Антоненко А., Кравченко М. Оцінка безпечності соусної продукції // Товари і ринки. 2010. № 1. С. 184-188.
5. Кочетков Н.К. Химия природных соединений: углеводы, нуклеотиды, стероиды, белки / Н.К. Кочетков, И.В.Торгов, М.М. Ботвинник. – М.: Химия, 1961. – 561 с.
6. Ластухін Ю.О. Хімія природних органічних сполук: Навч. посібник. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», «Інтелект-Захід», 2005. – 560 с.
7. ГОСТ 33333–2015 Добавки пищевые. Камедь ксантановая E415. Технические условия.
8. ГОСТ 17471–90 Соусы томатные. Технические условия.
9. ГОСТ 32063–2013 Кетчупы. Общие технические условия.

10. Реологічні методи дослідження сировини та харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик: метод. посібник / Горальчук А.Б. та ін. Харків: ХДУХТ, 2006. 63 с.

11. Черевко О.І., Реологія в процесах виробництва харчових продуктів: навч. посібник: у 2 ч. Ч. 1. Класифікація та характеристика не ньютонівських рідин/[О.І. Черевко, В.М. Михайлов, В.І. Маяк, О.А. Маяк]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Х.: ХДУХТ, 2014. – 244 с.

12. Карпова Я.О. Дослідження синергічного ефекту при використанні композицій камедей / О.В.

Скропишева, В.П. Гнідець, М. Л. Кулігін: Матеріали II Всеукраїнської наукової конференції [«Стан і перспективи розвитку хімічної, харчової та парфумерно-косметичної галузей промисловості»], (Херсон, 22 – 23 травня 2018 р. – С. 70-72.

13. Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization / Iida Y. et al. // Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2008. Т. 9, № 2. С. 140-146.

14. Дослідження основних фізико-хімічних властивостей набухаючих видів крохмалю / Пічкур В.Я. та ін. // Наукові праці ОНАХТ. 2014. Т. 2, № 46. С. 148-152.

УДК 537.8

Каганов В.И.

доктор техни. наук, профессор

Фам Ки

магистр, аспирант

МИРЭА - Российский технологический университет

Москва, Российская Федерация.

ДВА МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА НЕЛИНЕЙНОСТИ СВЧ ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ .

Рассматривается связь между нелинейными амплитудной и фазо-амплитудной характеристиками СВЧ транзисторного усилителя мощности и спектром выходного сигнала при двухчастотном и шумоподобным входном сигнале, сформированном на основании функции Вейерштрасса. На основании этой связи составлены две компьютерные программы, позволяющие вычислить амплитудно-частотный спектр выходного сигнала. Приводятся четыре примера расчета спектра по данным программам и заключение о влиянии нелинейных параметров усилителя на спектр сигнала.

Ключевые слова: СВЧ, транзисторный усилитель, нелинейные характеристики, спектр.

W.I.Kaganov

Doctor Techn. Sciences, Professor

Fam Ky

Postgraduate Student

MIREA - Russian Technological University

TWO METHODS OF SPECTRAL ANALYSIS OF THE NONLINEARITY OF THE MICROWAVE TRANSISTOR POWER AMPLIFIER.

The connection between the nonlinear amplitude and phase-amplitude characteristics of the microwave transistor power amplifier and the spectrum of the output signal is considered. Two computer programs are compiled on the basis of this connection, which make it possible to calculate the amplitude-frequency spectrum of the output signal with input two-frequency and noise-like signals. Four examples of calculating the spectrum from these programs are given. The conclusion about the influence of non-linear parameters of the amplifier on the signal spectrum is made.

Keywords: microwave, transistor amplifier, nonlinear characteristics, spectrum.

Постановка задачи.

В современных системах с множественным доступом к каналу радиосвязи к СВЧ усилителям мощности предъявляется требование по одновременному усилению большого числа несущих колебаний при низком уровне интермодуляционных искажений [11]. Для выполнения данных, в определенном смысле противоречивых требований, СВЧ транзисторный усилитель мощности должен иметь следующие две характеристики [2] :

линейную амплитудную характеристику - $U_{\text{вых}} = Y A(U_{\text{вх}})$ и

фазо-амплитудную характеристики $\Theta_{\text{вых}} = Y F(U_{\text{вх}}) = \text{const}$,

где $U_{\text{вх}}$ - амплитуда входного двухчастотного сигнала, $U_{\text{вых}}$ - амплитуда выходного сигнала, $\Theta_{\text{вых}}$ - разность фаз выходного и входного сигнала.

Однако, по причин нелинейного характера вольт-амперной характеристики как биполярного, так и полевого транзисторов и зависимости их реактивных параметров от амплитуды сигнала, реальные характеристики СВЧ транзисторных усилителей мощности с КПД близким к 50% отличные от идеальных. Пример характеристик СВЧ усилителя

мощности частотой 2 ГГц с полевым нитрил-галлиевым транзистором [3] типа приведены на рис.1.

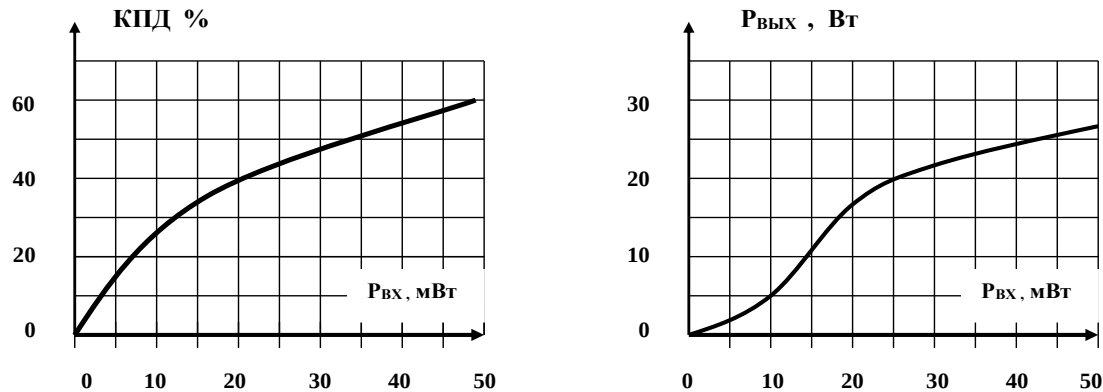


Рис.1. Характеристики СВЧ усилителя на полевом транзисторе

В целом нелинейные свойства СВЧ усилителя более целесообразно оценивать не по двум данным характеристикам, а по спектру выходного сигнала. При этом важно связать нелинейность двух характеристик (рис.1) с уровнем дополнительных спектральных составляющих, появляющихся в выходном сигнале. Такая связь позволяет выработать требования, предъявляемые к параметрам СВЧ транзисторов. Рассмотрим в этой связи два спектральных метода оценки нелинейных свойств СВЧ транзисторного усилителя мощности.

Первый спектральный метод. По причине нелинейных свойств транзистора входной синусоидальный сигнал на выходе СВЧ усилителя претерпевает изменения. Но судить по измененной форме

выходного сигнала по отношению ко входному затруднительно.

Более "тонким" методом анализа в таких случаях является спектральный метод, основанный на сравнении амплитудных спектров входного и выходного сигналов. Тестовым сигналом при таком методе является двухчастотный сигнал, позволяющий получить комбинационный спектр выходного сигнала и дать количественную оценку нелинейным свойствам анализируемого генератора. Поскольку данный метод анализа находит широкое применение в современной радиотехнике, то сначала более подробно рассмотрим структуру самого двухчастотного сигнала, который представим в виде суммы двух синусоидальных сигналов, разнесенных на частоту F :

$$\begin{aligned} u_{\text{ВХ}}(t) &= U_1 \sin(2\pi f_1 t) + U_2 \sin(2\pi(f_1 + F)t) = \\ &= A(t) \sin(2\pi f_1 t + \Theta(t)), \end{aligned} \quad (1)$$

где $A(t)$ – амплитуда; $\Theta(t)$ – фаза суммарного сигнала.

$$A(t) = U_1 \sqrt{1 + q^2 + 2q \cos(\Omega t)}; \quad (2)$$

$$\Theta(t) = \arctg \frac{q \sin(\Omega t)}{1 + q \cos(\Omega t)}, \quad (3)$$

где $q = U_2/U_1$ – отношение амплитуд сигналов, $\Omega = 2\pi F$.

Цель дальнейшего анализа состоит в том, чтобы при известных характеристиках одночастотного режима (рис.1) определить выходной комбинационный спектр при заданном входном двухчастотном сигнале (1).

С учетом зависимостей (2) и (3) выходной сигнал:

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = U_{\text{ВЫХ}}(t) \sin[\omega t + \Theta(t) + \Delta \varphi_{\text{ВЫХ}}(t)] = [YA(A(t))] \sin[\omega t + \Theta(t) + YF(A(t))].$$

Преобразуем (к виду:

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = C(\Omega t) \sin \omega t + D(\Omega t) \cos \omega t, \quad (4)$$

$$C(\Omega t) = YA[A(t)] \cos[\Theta(t) + YF(A(t))],$$

$$D(\Omega t) = YA[A(t)] \sin[\Theta(t) + YF(A(t))].$$

где

Разложив периодические функции $C(y)$ и $D(y)$ по разностной частоте $\Omega = 2\pi F$, представим выходной сигнал в виде двух сумм бесконечного ряда:

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \sin[(\omega - n \Omega) t + \varphi_{A_n}] + \sum_{n=0}^{\infty} B_n \sin[(\omega + n \Omega) t + \varphi_{B_n}]. \quad (5)$$

С помощью компьютерной программы, составленной на основании формул (1) -(5), рассчитаем и построим комбинационные спектры для трех случаев:

- при нелинейной амплитудной характеристике (рис.2,а),а,
- при нелинейной фазо-амплитудной характеристике (рис.2,ю),
- при нелинейности обеих характеристик (рис.2,в).

В всех трех случаях частота 1-й несущей равна $f_1 = 2$ ГГц, разнос между частотами $F = 2$ МГц, амплитуды обоих сигналов $U_{\text{ВХ}} = 1$ В.

$$YA(x) = a_1 x + a_2 x^2 - a_3 x^3. \quad (6)$$

$$YF(x) = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 - b_3 x^3 - b_4 x^5. \quad (7)$$

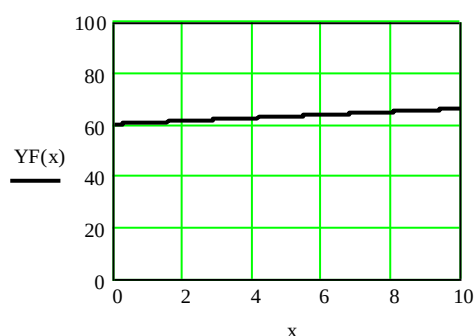
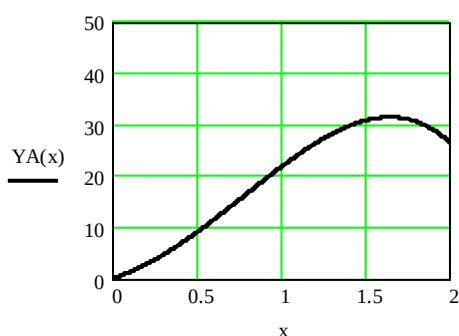
где $x = U_{\text{ВХ}}$ - амплитуда входного синусоидального сигнала.

Значения амплитуд комбинационных составляющих в спектре выходного сигнала (рис.3) для трех рассчитанных случаев приведены в таблице 1, в которой порядок k комбинационной составляющей определяется как $f_k = n f_1 \pm m f_2$.

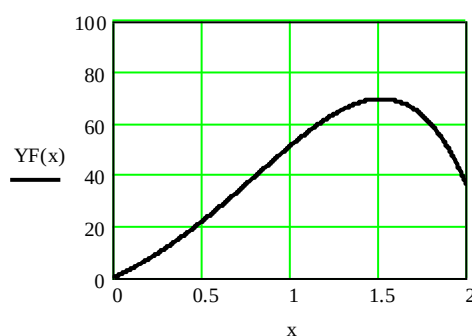
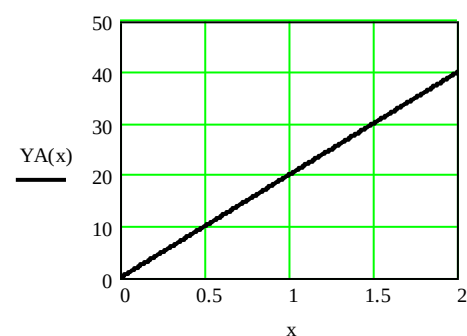
Таблица 1.

Результаты расчета по компьютерной программе

Вариант	Основная составл.	3-го порядка	5-го порядка	7-го порядка	9-го порядка
Рис.,а	0 дБ	-16 дБ	-23 дБ	-34 дБ	-46 дБ
Рис.2,б	0 дБ	-21 дБ	-14 дБ	-33 дБ	-60 дБ
Рис.2,в	0 дБ	-19 дБ	-13 дБ	-30 дБ	-45 дБ



а)



б)

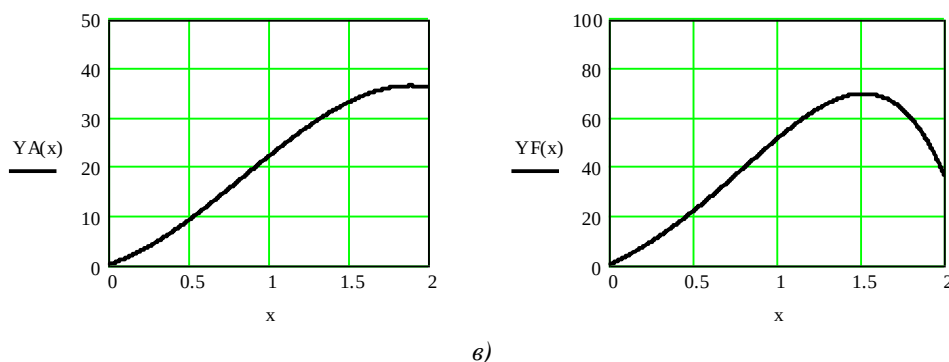


Рис.2. Амплитудная и фазо-амплитудная характеристики СВЧ Усилителя (три типовых случая)

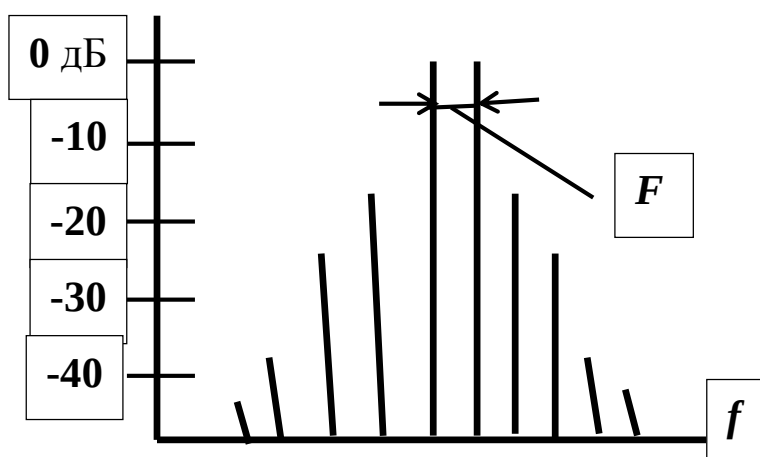


Рис.3. Пример спектра выходного сигнала СВЧ усилителя

Второй спектральный метод с помощью шумоподобного сигнала. Сформируем шумоподобный сигнал на основании укороченной функции Вейерштрасса. [4,5]. Данная функция, задаваемая бесконечным рядом, относится к числу недифференцируемых. При конечном числе членов ряда данная функция может быть представлена в виде :

$$W(f) = 4 \int_0^T R(\tau) y \cos(2\pi f\tau) d\tau, \quad (8)$$

где $0 < a < 1$, $ab > 1$.

График функции (1) при $a=0,95$, $b=1,3$ и $N=50$, напоминающей шумовой сигнал, приведен на рис.4

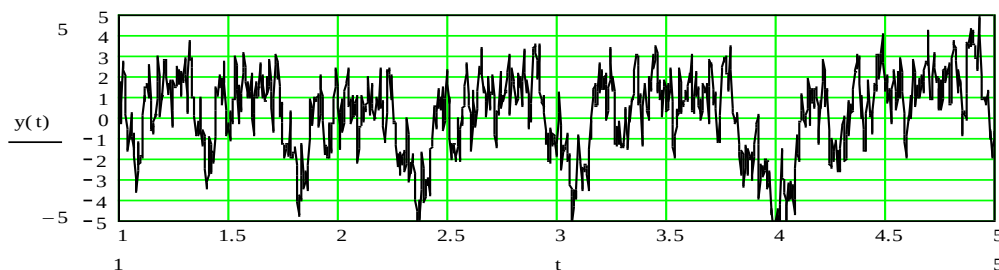


Рис.4. Пример графика функции Вейерштрасса.

Рассмотрим воздействие шумоподобного сигнала [2] на СВЧ усилитель линейного и нелинейного типа, амплитудные характеристики которых описываются соответственно следующими полиномами:

$$YL(U_{ex}) = b_0 U_{ex} \quad (7)$$

$$YN(U_{ex}) = a_0 + a_1 U_{ex} + a_2 (U_{ex})^2 - a_3 (U_{ex})^3. \quad (8)$$

Пример графиков таких характеристик приведен на рис.6

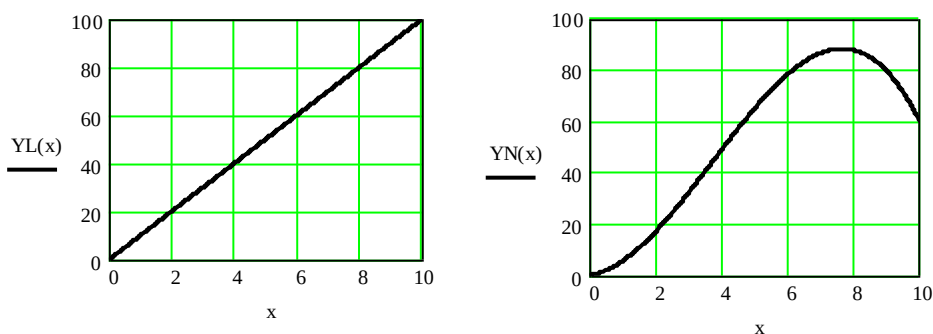


Рис.5. Линейная и нелинейная амплитудные характеристики усилителя

При входном шумоподобном сигнале, приведенном на рис.6, и характеристиках СВЧ усилителя, представленном на рис.7, графики выходных сигналов, рассчитанные по компьютерной программе, приведены на рис.8,

где первый из них относится к линейному случаю, второй - нелинейному.

Далее согласно прямому у преобразованию Фурье по компьютерной программе [6] рассчитаем амплитудно-частотные спектры на выходе усилителя. Рассчитанные графики спектральной плотности для линейного и нелинейного случая приведены на рис. 6.

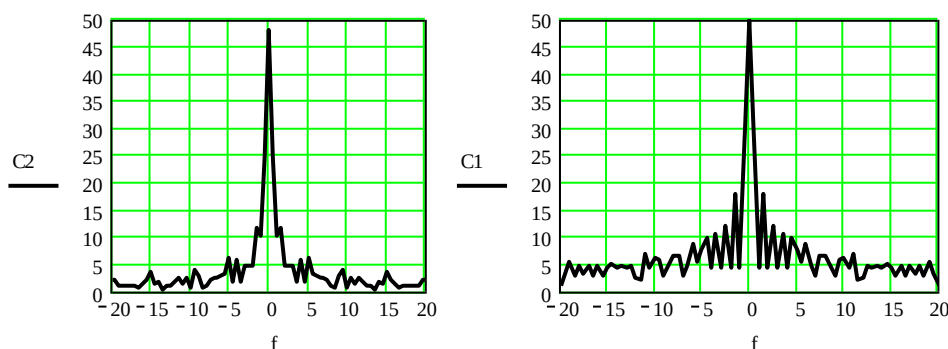


Рис.6. Графики спектральной плотности выходного сигнала линейного и нелинейного усилителей

Различие между спектрами оценим с помощью формулы для среднеквадратичной ошибки

$$W = \sum_{k=0}^K [C1_k - C2_k]^2. \quad (9)$$

В рассматриваемом примере ошибка $W=12272$ условных единиц. Чем больше эта величина ошибки, тем более искаженным является сигнал на выходе нелинейного усилителя по сравнению с линейным случаем..

Закключение

1. С помощью составленных компьютерных программ можно определить влияние нелинейности амплитудной и фазо-амплитудной характеристик СВЧ транзисторного усилителя мощности на изменение спектра многочастотного и шумоподобного сигналов .

2. В случае многочастотного сигнала критерием такой оценки является уровень 3-й - 7-й комбинационных составляющих в спектре выходного

сигнала при двухчастотном входном сигнале. Причем, фазо-амплитудная конверсия может оказывать большее воздействие на их уровень (см. табл.1)

3. В случае шумоподобного сигнала оценка осуществляется на основании среднеквадратичной ошибки между полученным спектром и относящимся к линейному случаю.

Литература.

1. Немировский М.С., Локшин Б.Д., Арнов Д.А. Основы построения систем спутниковой связи – М.: Горячая линия-Телеком, 2016.
2. Каганов В.И. СВЧ полупроводниковые радиопередатчики. - М. Радио и связь, 1981
3. В.В. Гавриков. Мощные нитрид-галлиевые транзисторы. Новости электроники, 2015, №7 .
4. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами— М.: Радио и связь, 1985.
5. Гринченко В.Т., Мацыпура В.Т., Снарский А.А. Введение в нелинейную динамику. Хаос и фракталы. Изд. 2-е. – М.: ЛКИ, 2007.
6. Каганов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Компьютеризированный курс. 4-е издание. - М.: Форум, 2018.

Kensytskyi O.H.doctor of sciences (engineering), manager of department,
Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine**Kramarskyi V.A.**candidate of sciences (engineering), senior staff scientist,
Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine**Kobzar K. O.**candidate of sciences (engineering), main designer,
State Enterprise «Plant «Electrotyazhmash»**Hvalin D.I.**postgraduate student,
Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine**Кенсицький Олег Георгійович**доктор технічних наук, завідувач відділу,
Інститут електродинаміки НАН України**Крамарський Володимир Анатолійович**кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Інститут електродинаміки НАН України**Кобзар Костянтин Олександрович**кандидат технічних наук, головний конструктор,
Державне підприємство «Завод «Електроважмаш»**Хвалін Денис Ігорович**аспірант,
Інститут електродинаміки НАН України**HEATING OF STATOR END ZONE OF TURBOGENERATOR AT DIFFERENT VARIANTS IT
STRUCTURAL IMPLEMENTATION****НАГРІВ КІНЦЕВОЇ ЗОНИ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА
ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ ЇЇ КОНСТРУКТИВНОГО ВИКОНАННЯ**

Summary: Taking into account the anisotropy and saturation stator core with help a quasi-three dimensional mathematical model for a number of variants the design of a stator core end zone of powerful turbogenerator on the conditions of reactive power consumption the distribution of magnetic induction and temperature in elements is obtained. By the criterion of decreasing the maximum and average temperature in the construction elements a comparative analysis of efficiency for these variants is made.

Keywords: turbogenerator, end zone, stator core extreme packet, temperature.

Анотація: Для низки варіантів конструкції торцевої зони осердя статора потужного турбогенератора за допомогою квазітривимірної математичної моделі отриманий розподіл магнітної індукції і температури в елементах у режимі споживання реактивної потужності з урахуванням анізотропії та насичення осердя статора. За критерієм мінімуму нагріву елементів конструкції проведений порівняльний аналіз ефективності варіантів.

Ключові слова: турбогенератор, торцева зона, крайні пакети осердя статора, температура.

Постановка проблеми. Забезпечення високого рівня експлуатаційної надійності, коефіцієнта корисної дії (ККД) та ремонтпридатності турбогенераторів (ТГ) на основі нових інженерних рішень є головними задачами важкого електромашинобудування. Значна кількість цих рішень спрямована на вдосконалення торцевої зони (ТЗ) статора, однієї з найважливіших проблемних зон конструкції машини, нагрів якої обмежує можливості ТГ в експлуатаційних режимах, в тому числі у режимах із споживанням реактивної потужності. Це пояснюється як складністю конструкції ТЗ, так і наявністю в цій зоні електричних, магнітних і теплових явищ, які ще недостатньо детально вивчені.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливо гостро необхідність впровадження нових рішень стосується ТГ з повітряним охолодженням

[1, 4, 9], для яких є характерним несприятливе поєднання низької спроможності відводу тепла та високої щільності повітря. Актуальність і невирішеність проблеми підтверджується чисельними публікаціями та різноманітним технічним рішенням, які застосовують провідні виробники ТГ у світі.

Численні теоретичні та експериментальні дослідження електромагнітних і теплових процесів в елементах конструкції ТЗ осердя статора потужних ТГ дозволили прояснити особливості, обумовлені нерівномірним розподілом магнітних потоків, щільності вихрових струмів, питомих втрат і нагрівів, та отримати необхідну інформацію й передумови для розробки математичних моделей і методів розрахунку магнітного поля, втрат і розподілу температури. Сучасні методи і наявна обчислювальна техніка дають можливість математично більш достовірно моделювати процеси в складних

технічних об'єктах і оцінювати ефективність нових технічних рішень.

Мета роботи. Метою роботи є визначення температурного поля в елементах кінцевої частини ТГ для низки варіантів її конструктивного виконання і порівняльний аналіз їх ефективності.

Виклад основного матеріалу. У якості об'єкта дослідження розглянутий серійний ТГ типу ТГВ-500 потужністю 500 МВт (ДП завод «Електроважмаш» м. Харків). Для порівняння ефективності різних варіантів конструкції ТЗ осердя статора в її основних елементах розраховане поле температури для режиму навантаження зі споживанням реактивної потужності ($\cos \varphi = -0,95$).

На рис. 1 наведена конструкція ТЗ ТГ, де позначені: 1 – крайній пакет осердя статора; 2 – натискний палець; 3 – мідний екран; 4 – натискна плита; 5 – корпус підшипника; 6 – газонаправляючий апарат; 7 – масло-ущільнює кільце; 8 – газорозподільний циліндр; 9 – обмотка статора; 10 – кронштейни кріплення обмотки.

Обмотки статора і ротора охолоджуються дистиллятом, осердя статора – воднем. В ТЗ осердя статора для захисту спинки крайнього пакета для підсилення екрануючої дії між натискною плитою і натискним пальцем встановлене плоске мідне кільце завтовшки 10 мм. Охолодження натискної плити здійснюється за допомогою охолоджуючих каналів, по яких циркулює вода.

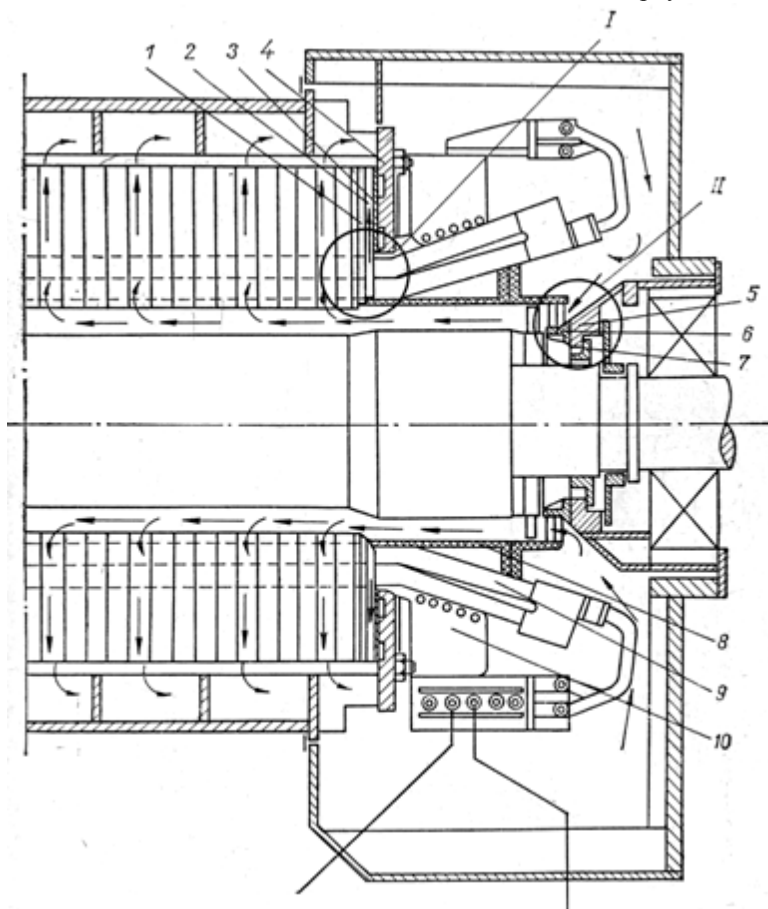


Рис. 1.

Математична модель спільного розрахунку електромагнітного поля та нагрівів у ТЗ статора ТГ дозволяє математично строго враховувати режим роботи ТГ шляхом завдання системи реально розподілених струмів лобових частин обмоток статора і ротора [2]. Кваситривимірна математична модель займає проміжне положення між двовимірним і тривимірним рішеннями і реалізована у програмному середовищі *Comsol Multiphysics* [10]. Вона побудована на чисельних розрахунках у поперечному та поздовжньому перетинах ТГ, взаємопов'язаних за допомогою комплексу граничних умов (ГУ). Розрахункова область охоплює всю ТЗ генератора, включаючи крайні та основні пакети осердя статора. При цьому враховуються реальна геометрія

елементів ротора й статора, анізотропія та насичення осердя статора. Модель відповідає реальним розмірам ТГ в цілому, а також його окремих вузлів. Для кожного вузла задані фізичні параметри матеріалу, з якого він виготовлений. Для феромагнетиків побудовані відповідні криві намагнічування.

Спочатку розглядається двовимірна польова модель електромагнітного поля поперечного перерізу центральної зони ТГ. Рівняння для двовимірного магнітного поля відносно аксіальної складової векторного магнітного потенціалу (ВМП) A_z у розрахунковій області має вигляд:

$$j\omega\sigma A + \nabla \times (\mu_0^{-1} \mu_r^{-1} \nabla \times A) = J_{z\text{стоп}}^e e_z, \quad A = A_z e_z, \quad (1)$$

де ω – кутова частота; σ – питома електропровідність; ∇ – оператор Гамільтона; μ_0 – відносна

проникність вакууму; μ_r – відносна магнітна проникність; $J_{\text{стор}}$ – густина сторонніх струмів, що задана у перерізах обмоток статора та збудження; e_z – орт.

Рівняння (1) доповнюється однорідною ГУ першого роду, що відображає затухання поля за межами розрахункової області G на лінії зовнішньої поверхні яра статора:

$$A_z|_G = 0. \quad (2)$$

В обмотці статора прийнято симетричну систему фазних струмів

$$\begin{cases} i_A = I_m \sin(\omega t + \beta) \\ i_B = I_m \sin(\omega t + \beta - 120^\circ), \\ i_C = I_m \sin(\omega t + \beta + 120^\circ) \end{cases} \quad (3)$$

де I_m – їх амплітуда; β – кутове зміщення осі, вздовж якої діє магніторухлива сила (МРС) трифазної обмотки статора по відношенню до повздовжньої осі ротора d .

Кут β визначається як

$$\beta = 90^\circ + \theta + \varphi, \quad (4)$$

де θ – кут навантаження машини; φ – кут фазового зсуву між напругою та струмом статора.

Кут навантаження θ дорівнює [3]

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{I_s \cos \varphi}{(U_s / x_d) \pm I_s \sin \varphi} \quad (5)$$

де I_s , U_s – фазні струм і напруга статора, відповідно; x_d – головний індуктивний опір; знак «плюс» відповідає режиму перезбудження ТГ, «мінус» – недозбудження.

Величини струмів в обмотках статора та ротора й кута β задаються у відповідності з режимом роботи генератора.

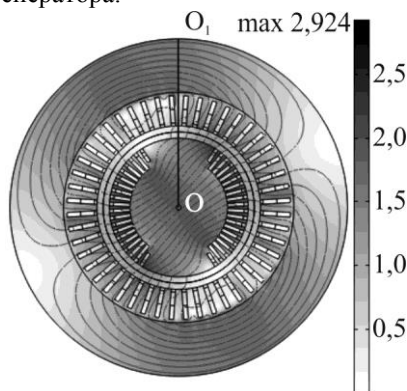


Рис. 2

Коефіцієнти тепловіддачі торцевих поверхонь та вентиляційних каналів задані у відповідності до рекомендацій [3, 5]. Температура холодного газу прийнята 40 °С. Параметри охолодження незмінні для всіх варіантів ТЗ ТГ, що розглядаються.

Оскільки ефективність різних варіантів конструкції ТЗ визначається з порівняння максимальної та середньої температури осердя статора, надалі приводяться тільки результати теплового розрахунку.

На рис. 2 показаний миттєвий розподіл магнітної індукції (МІ) та ВМП у певний момент часу в центральній зоні (у даному випадку $t = 0,02$ с, що відповідає одному повному обороту ротора). Відтінками сірого кольору показані рівні МІ у Тл у відповідності з приведеною шкалою.

Маючи розподіл поля у центральній частині, моделюється магнітне поле у поздовжньому перетині ТГ. З врахуванням симетрії вздовж осевого та радіального напрямків (рис. 1), розрахункова область ТЗ обрана у вигляді половини перерізу ротора вздовж його осі та перетину зубця осердя статора у тангенціальному напрямку (по колу) [11]. Цей перетин співпадає з циліндричною координатною площиною rz і є площиною симетрії ротора (на рис. 2 вона проходить по радіусу OO_1).

Рівняння для двовимірного поля в циліндричних координатах відносно складової ВМП A_z , яка є тангенціальною складовою у розрахунковій області, має вигляд (1). Необхідна структура силових ліній магнітного поля формується за допомогою комплексу ГУ для ВМП, що встановлюються для зовнішніх меж області [2].

На рис. 3 показаний розподіл МІ та ВМП в ТЗ ТГ для режиму навантаження зі споживанням реактивної потужності ($\cos \varphi = -0,95$).

Приймаючи отримані результати електромагнітного розрахунку як джерело виникнення вихрових струмів і тепловиділень, моделюються теплообмінні процеси у ТЗ ТГ. Рівняння для двовимірного температурного поля має вигляд:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q, \quad (6)$$

де ρ , C_p , k – коефіцієнти теплофізичних характеристик: густина, теплоємність при постійному тиску і теплопровідність, відповідно; T – температура; Q – питомі об'ємні теплові втрати.

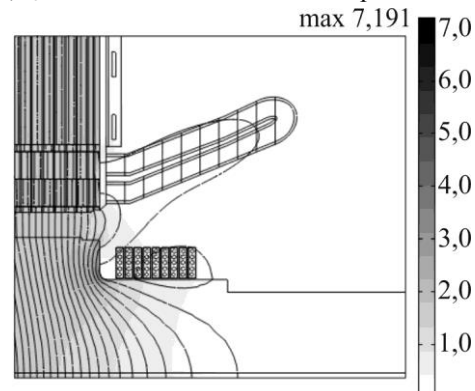


Рис. 3

Варіант 1. Базова (заводська) конструкція ТЗ ТГ.

На рис. 4 показаний розподіл температури для режиму навантаження зі споживанням реактивної потужності ($\cos \varphi = -0,95$) у розрахунковій області ТЗ ТГ базової конструкції (рис. 1), а на рис. 5 – розподіл нагрівів двох крайніх пакетів осердя статора, натискного пальця, мідного екрана та натискної плити.

Максимальна температура в зубцевій зоні біля дна паза крайнього пакета осердя становить 111 °С, натискної плити – 108 °С, натискного пальця – 99 °С, що відповідає результатам натурних випробувань ТГ [3]. Максимальна температура в зубцевій зоні крайнього пакета біля дна паза пояснюється тим, що окрім радіального поля зубцева зона наванта-

max 110,86

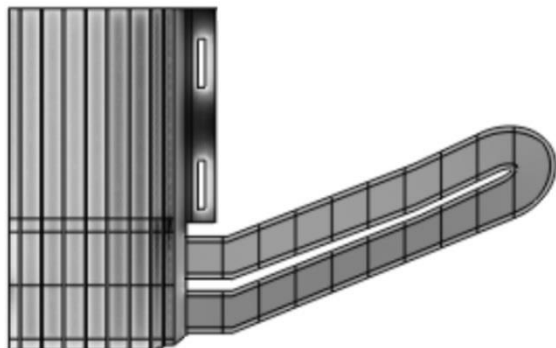


Рис. 4

тажена аксіальним потоком, створеним МРС лобових частин обмотки статора, розсіюванням лобових частин обмотки ротора, а також «витисканням» частини основного потоку із повітряного проміжку. До того ж, причиною локальної концентрації аксіальної складової поля біля дна паза є ефект екранування поля натискною плитою (рис. 3).

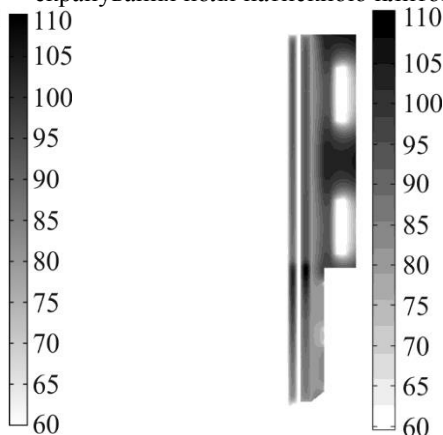


Рис. 5

Зрозуміло, що розподіл нагрівів натискної плити обумовлений наявністю каналів з охолоджуючою водою. Однак вони ефективні лише в локальній близькості і на нагрів мідного екрану не впливають. З віддаленням від зубцевої зони крайніх пакетів з максимальною температурою у сторону спинки осердя температура різко зменшується з причини екрануючої дії натискної плити та мідного екрана. Аксіальна складова МІ в зоні коронки зубців сягає 1,1-1,15 Тл (торець сходинки першого пакету), однак ця зона інтенсивно охолоджується газом, що циркулює в зазорі. Тому температура тут невисока.

Із всього наведеного можна зробити висновок, що нагрів елементів ТЗ ТГ є вкрай нерівномірним, що обумовлено аналогічним розподілом втрат та наявною схемою охолодження. Максимальні значення температури в окремих елементах більше середнього майже втричі.

Варіант 2. Глибокий скіс крайніх пакетів осердя статора.

Деякими виробниками ТГ застосовується глибокий скіс крайніх пакетів осердя статора (напри-

max 116,73

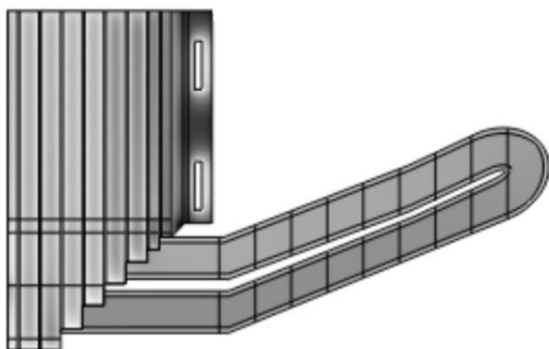


Рис. 6

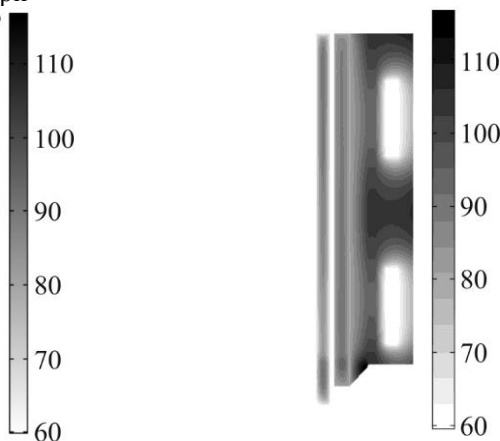


Рис. 7

клад, АТ «Силловые машины», Росія). Значне вкорочення зубців крайніх пакетів дозволяє знизити їх нагрів, але недоліками такої конструкції є зменшення магнітної провідності повітряного проміжку машини в цій зоні і складності забезпечення пресуючого зусилля в зубцях. Крім того, в цьому випадку на лобові частини обмотки статора діють додаткові механічні сили електромагнітної природи.

З рис. 6 та 7 можна встановити, що максимальна температура в зоні біля дна паза крайнього пакета осердя статора становить 95 °С, натискної плити – 108 °С, натискного пальця – майже 117 °С. З причини вкорочення натискного пальця його торець навантажений магнітним потоком, створеним МРС лобових частин обмотки статора, частиною основного потоку, яка «витискається» із повітряного проміжку, а також потоком, що обтікає натискну плиту. Тому при такому виконанні ТЗ осердя статора доцільно змінювати конструкцію натискного пальця, наприклад робити його подовженим у бік зазору машини, як це реалізовано у ТГ типу ТВВ-1000 або запропоновано у роботі [7].

Варіант 3. Встановлення L-подібного екрану.

Електромагнітний екран, який охоплює нижню кромку натискної плити зі сторони осердя і повітряного проміжку машини використовується, наприклад, у ТГ ДП «Завод «Електроважмаш» (м.Харків). З рис. 8 та 9 видно, що максимальна температура в зоні біля дна паза крайнього пакета осердя становить 92 °С, натискної плити – 105 °С, max 109,77

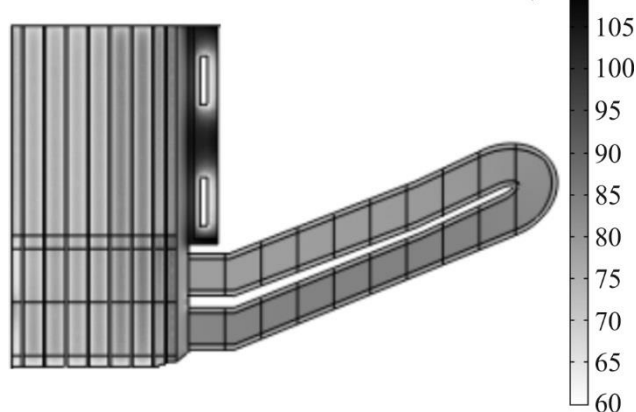


Рис. 8

натискного пальця – 95 °С. Висока ефективність L-подібного екрану пояснюється «витисканням» магнітних потоків із зони біля дна паза за рахунок ділянки екрану, яка охоплює нижню кромку натискної плити. За рахунок цього температура зубцевої зони статора біля дна паза зменшується, але при цьому має місце значний нагрів саме цієї ділянки екрану.

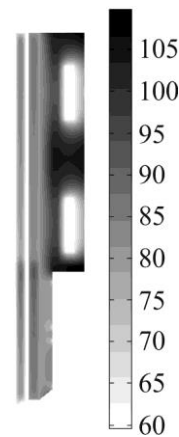


Рис. 9

Варіант 4. Застосування внутрішнього екранування крайніх пакетів осердя статора.

Авторами роботи [8] запропоновано конструктивне рішення, суть якого полягає у розміщенні в крайньому пакеті осердя статора електропровідних екранів зубцево-пазової конфігурації, що набирається, як і залізо статора, з окремих сегментів та повторює геометрію сегментів заліза. Дослідження [6] підтверджують ефективність структурного внутрішнього електромагнітного екранування крайніх пакетів осердя статора, виконаного із застосуванням феромагнітних (залізо статора) і електропровідних елементів рівної товщини. Для будь-яких інших співвідношень товщин елементів екранування є менш ефективним. В даному випадку розглянутий варіант розташування в тілі крайнього

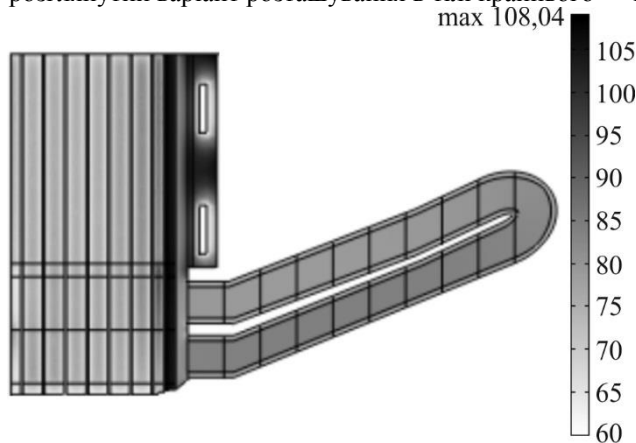


Рис. 10

пакета структурного екрану, у якому для підвищення механічної міцності осердя статора мідні елементи встановлено за феромагнітними. Товщина всіх елементів становить 4 мм. Тобто у крайньому пакеті завтовшки 20 мм розміщено два мідних елемента і три феромагнітних. Із рис. 10 і 11 видно, що максимальна температура при цьому в зубцевій зоні осердя статора біля дна паза крайнього пакета становить 95,7 °С, у натискній плиті – 108 °С, натискного пальця – 98 °С.

Ефективність структурного внутрішнього екрану пояснюється тим, що втрати в мідному екрані більш рівномірно розподіляються та підвищуються у верхній його частині, магнітні потоки (рис. 3) відхиляються у магнітні листи заліза і майже повністю замикаються в них.

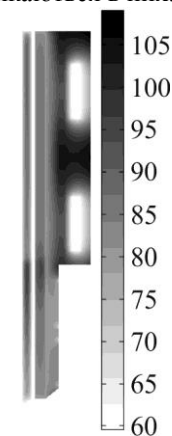


Рис. 11

Максимальні та середні абсолютні температури основних елементів кінцевої частини ТГ для різних варіантів конструкції зведені у табл. 1.

Таблиця 1

Абсолютна температура, $T_{\text{макс}} / T_{\text{сер}}, ^\circ\text{C}$	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
Крайні пакети осердя статора	111/91	95/86	92/84	95,7/88
Натискна плита	108/88	108/87	105/85	108/88
Натискні пальці	99/85	116,7/89	95/80	98/83

Звідки видно, що з розглянутих варіантів конструкції торцевої частини статора у варіанті 3 з електропровідним L -подібним екраном між натискною плитою і натискними пальцями максимальне перевищення температури основних елементів конструкції над холодним газом (40°C) є найнижчим, а саме: крайнього пакета осердя 52°C , натискної плити 75°C , натискного пальця 55°C . Застосування структурного екрана (варіант 4) дозволяє зменшити максимальну температуру крайнього пакета осердя статора, але при цьому збільшується середня температура з причини наявності мідних елементів. Структурний екран не впливає на нагрів натискної плити та пальців.

Для ТГ з глибоким скосом крайніх пакетів осердя статора (варіант 2), який виконує функцію шунта [6, 8], застосування ефективних екранів дозволить зменшити розмір скосу, що значно підвищить міцність конструкції статора, збільшить коефіцієнт магнітного зв'язку обмоток.

Висновки

1. Розроблена модель розрахунку розподілу МІ і температури в основних елементах торцевої частини статора ТГ дозволяє якісно і наглядно оцінювати ефективність різних варіантів конструкції з урахуванням всіх електромагнітних і теплофізичних характеристик. Точність розрахунків визначається переважно достовірністю цих характеристик.

2. Серед розглянутих варіантів конструкцій ТЗ осердя статора ТГ найбільш ефективною з точки зору мінімізації температури її основних елементів є конструкція з L -подібним електромагнітним екраном.

3. Пошук оптимальної конструкції кінцевої частини осердя статора ТГ доцільно проводити з використанням комбінації електропровідного L -подібного екрана та найбільш ефективних відомих і нових окремих технічних рішень, наприклад внутрішнього екранування крайніх пакетів.

Список літератури

1. Алексеев Б.А., Мамиконянц Л.Г., Поляков Ф.А., Шакарян Ю.Г. Проблемы электрических машин на сессии СИГРЭ // Электричество. 2009. № 3. С. 60-67.

2. Кенсицький О.Г., Хвалін Д.І. Електромагнітне поле у торцевій зоні турбогенератора при зміні реактивного навантаження // Технічна електродинаміка. 2018. №1. С. 62-68.

3. Постников И. М., Станиславский Л. Я., Счастливый Г. Г. Электромагнитные и тепловые процессы в концевых частях мощных турбогенераторов. – Киев: Наукова думка, 1971. 360 с.

4. Смородин В.И., Крамарский В.А., Кузьмин В.В., Черемисов И.Я. Концепция нетрадиционного исполнения торцевой зоны статора турбогенератора с полным воздушным исполнением // Техническая электродинамика. 1991. № 2. С. 47-50.

5. Счастливый Г.Г., Федоренко Г.М., Выговский В.И. Турбо- и гидрогенераторы при переменных графиках нагрузки. Киев: Наукова думка, 1985. 208 с.

6. Титко О.І., Мишастий М.Д., Воронін А.І., Хвалін Д.І. Експериментальні дослідження ефективності екранів зубцево-пазової конструкції статорів турбогенераторів // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. 2017. №46. С. 34-42.

7. Патент 99571 Україна МПК H02K 5/04. Статор електричної машини / Крамарський В.А., Черемисов І.Я., Титко О.І., Грубой О.П., Пенський В.Ф., Мінко О.М. № у 2014 14220; заявл. 31.12.2014; опубл. 10.06.2015. Бюл. № 11.

8. Патент 111154 Україна МПК H02K 3/42. Осердя статора електричної машини змінного струму / Титко О.І., Кобзар К.О., Хвалін Д.І. № у 2015 1257; заявл. 21.12.2015; опубл. 10.11.2016. Бюл. № 21.

9. Dr. Carl-Ernst Stephan, Jurgen Baer, Hans Zimmermann, Dr. Gerhard Neidhofer, Dr. Rjland Egil. New air-cooled turbogenerator in the 300-MVA class. ABB Review, 1/1996. Pp. 20-28.

10. Comsol Multiphysics modeling and simulation software. <http://www.comsol.com/>

11. Fujita M., Ueda T., Tokumasu T. Eddy current analysis in the stator end structures of large capacity turbine generators // International Conference on Electrical Machines and Systems. November, 2009. Tokyo. Japan. – Pp. 1-6.

Mineev S.P.*d.t.s., prof.***Smolanov S.N.***aspirant***Belikov I.B.***aspirant***Samopalenko P.M.***aspirant**IGTM N.S. Polyakova NASU, Dnepr, Simferopolska 2a, 49005***Минеев Сергей Павлович***д.т.н., проф.***Смолянов Сергей Николаевич***Соискатель***Беликов Игорь Борисович***Соискатель***Самопаленко Петр Михайлович***соискатель**ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, ул. Симферопольская 2а, 49005*

ON SOME QUESTIONS OF EXTRACTION OF COMPLEX FIRES IN COAL MINES О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ ТУШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПОЖАРОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Abstract. In the last 3-4 years, a number of serious accidents have occurred in the mines of Ukraine. At the same time, repeated explosions of methane-air mixtures occurred repeatedly during the elimination of the underground fire, which significantly complicate the work and often lead to additional traumatization of workers.

To intensify extinguishing of fires in isolated areas, repeated reversal is used. However, the complex of issues related to the safety and effectiveness of the application of this method, the nature and duration of the transient aerodynamic processes occurring in the emergency area with repeated reversal of the jet, is unexplored. New effective technologies for extinguishing complex underground fires are developed on the basis of improving existing extinguishing methods. These methods and the introduction of research results into the practice of mine rescue are an important and urgent problem for the mining industry.

Key words: coal mine, fire, liquidation of the accident, methane explosions, reversal.

Аннотация. В последние 3-4 года на шахтах Украины произошел ряд серьезных аварий. При этом неоднократно при ликвидации подземного пожара происходили повторные взрывы метановоздушных смесей, которые существенно осложняют работы и нередко приводят к дополнительному травмированию работников.

Для интенсификации тушения пожаров в изолированных участках применяют многократное реверсирование. Однако комплекс вопросов, связанных с безопасностью и эффективностью применения данного метода, характером и длительностью переходных аэродинамических процессов, возникающих на аварийном участке при многократном реверсировании струи, является неизученным. Разработаны новые эффективные технологии тушения сложных подземных пожаров на основе совершенствования существующих методов тушения. Эти методы и внедрение результатов исследований в практику горноспасательного дела является важной и актуальной проблемой для горнодобывающей отрасли.

Ключевые слова: угольная шахта, пожар, ликвидация аварии, взрывы метана, реверсирование.

В последние 3-4 года на шахтах Украины произошел ряд серьезных аварий. При этом неоднократно при ликвидации подземного пожара происходили повторные взрывы метановоздушных смесей, которые существенно осложняли работы и нередко приводили к дополнительному травмированию работников. Такие явления имели место на шахте «Краснолиманская», ШУ «Покровское» [1, 2]. Необходимо отметить, что аварийность на угольных шахтах остается достаточно высокой. Приведем данные по распределению этих аварий по видам за период с 1998 по 2000 год. Так, в угольных шахтах Украины произошло 232 подземных аварий, на ликвидацию которых привлекались подраз-

деления Государственной военизированной горноспасательной службы в угольной промышленности (ГВГСС).

Значительный удельный вес пожаров обусловлен высокой пожароопасностью угольных шахт, которая с одной стороны связана с большой насыщенностью горных выработок различными горючими материалами (метан, уголь, деревянная крепь, резиново-кабельные изделия, конвейерные ленты, горюче-смазочные материалы, взрывчатые вещества и пр.), а с другой – наличием многочисленных потенциальных источников воспламенения (электрическое и механическое оборудование, взрывные работы, огневые работы, курение и др.).

Опасность возникновения пожаров существенно возрастает на шахтах, где разрабатываются

угольные пласты, характеризующиеся значительной газообильностью и большим содержанием летучих веществ в полезном ископаемом, где нарушение технологии ведения работ, оставление в выработанном пространстве целиков и отбитого угля, склонного к самовозгоранию, способно привести к возникновению эндогенных пожаров.

Характерным является то, что в Донбассе, по мере усложнения горно-геологических и горнотехнических условий добычи угля, переходом очистных и подготовительных работ на более глубокие горизонты, увеличения газовыделения, горного давления, скорости вентиляционной струи и температуры тушение подземных пожаров становится все более сложной проблемой и часто требует новых нетрадиционных подходов и решений [2-7].

Анализ аварийности на угольных шахтах [4] показывает, что если подземный пожар, возникший в угольной шахте, не удалось потушить в течении нескольких суток (такие пожары обычно называют простыми) то, как правило, они сильно развиваются и непосредственное тушение их огнетушащими средствами становится небезопасным, а часто и невозможным. В таких приходится прибегать к изоляции пожарных участков, и простой пожар переходит в категорию сложных подземных аварий, длительность ликвидации которых может достигать нескольких месяцев, а иногда лет.

В последнее время в Донбассе имелись пожары, ликвидировать которые не удалось в течение нескольких лет (шахты «Бутовка-Донецкая», «Молодогвардейская», им. 60-летия Советской Украины, им. Мельникова и др.).

В отличие от относительно простых пожаров, ликвидация которых осуществляется активным способом, т.е. непосредственным воздействием на очаг пожара огнетушащими средствами, сложные пожары обычно тушатся методом изоляции или комбинированным методом, когда после изоляции на пожар дополнительно воздействуют огнетушащими средствами [2,4,8,9]. Изоляция пожара осуществляется путем возведения изоляционных перегородок, препятствующих поступлению воздуха к очагу пожара. Это позволяет создать в изолированном пространстве инертную среду и прекратить процессы горения. Как правило, подземные пожары чаще изолируют в таких случаях [2,9,14,18]:

- при отсутствии подступов к очагу пожара и невозможности воздействия на него огнетушащими средствами (например, если пожар находится в выработанном пространстве, при наличии завалов и др.);
- когда тушение пожара имеющимися огнетушащими средствами пожаротушения не эффективно и экономически нецелесообразно;
- когда в пожарном участке происходят взрывы метано-воздушной смеси и нельзя безопасно выполнить работы по его проветриванию;
- если суммарное содержание горючих газов в аварийном участке достигло 2 % при высоком содержании кислорода и предотвратить дальнейшее накопление горючих газов невозможно;

Сложные подземные пожары, тушение которых осуществляется изоляцией или комбинированным способом, как правило не превышают 10 % от общего числа пожаров [4], но убытки от таких пожаров достигают до 95 % всех убытков от аварий [10,16], что обуславливает особую актуальность поиска путей повышения эффективности их тушения.

Примером сложного пожара может служить шахта им. Засядько. Вентиляционный ходок, в который проник пожар из очага самовозгорания угля, пройден длиной 230 м и сечением в свету 5,9 м². Закреплен он был деревом. Угол наклона ходка изменялся от 11 до 14 °. Вентиляционный ходок соединял 9-й западный конвейерный и 8-й западный конвейерный штреки. Быстрому развитию пожара способствовала тепловая депрессия, величина которой достигала 900 Па. Тушение пожара со стороны 9-го конвейерного штрека вскоре стало невозможным из-за выгорания крепи и многочисленных обрушений. Со стороны 8-го западного конвейерного штрека (со стороны исходящей струи) тушение также оказалось невозможным из-за того, что температура воздуха на выходе из вентиляционного ходка составляла 95...100 °С. Снизить температуру в верхней части ходка можно было бы путем реверсирования вентиляторов главного проветривания, однако расчеты показали, что преодолеть тепловую депрессию не представлялось возможным.

Вскоре пожар начал распространяться по 8-му западному конвейерному штреку и выработанному пространству в сторону западного вспомогательного уклона №2. В этих условиях было принято решение об изоляции аварийного участка взрывоустойчивыми перемычками. Со стороны свежей струи перемычки были установлены в 9-м западном и 8-м западном конвейерных штреках, со стороны исходящей – по линии примыкания выработанного пространства к вспомогательному уклону №2. С целью улучшения герметизации аварийного участка 9-й западный вентиляционный штрек был полностью затоплен на протяжении 400 м. Тушение пожара методом изоляции продолжалось в течение 10 месяцев. Основные причины низкой эффективности тушения пожаров изоляцией и комбинированным методом следующие.

Периметр изоляционного пожарного участка составляет в большинстве случаев несколько тысяч метров. Целики угля, являясь концентраторами напряжений в толще вмещающих пород, имеют разветвленную сеть трещин. Поэтому к очагу пожара на протяжении всего периода изоляции, даже при высокой герметичности перемычек, поступает количество воздуха, достаточное для поддержания горения. В тех случаях, когда удается достигнуть хорошей герметичности и снизить утечки воздуха до приемлемого уровня, происходит незначительный вынос тепла, аккумулированного породами в районе очага пожара. Охлаждение горных пород до температуры, исключающей рецидив пожара (70...120 °С), происходит в основном за счет рассеивания тепла в горный массив обычно за 6...9 ме-

сяцев. При этом, обычно попытки преждевременного вскрытия аварийного участка заканчивается рецидивом пожара.

Поэтому используются различные методы интенсификации тушения изолированных подземных пожаров. Интенсифицировать процесс тушения изолированных пожаров можно путем вентиляционного воздействия на них [2,11,12,13,18].

Известен способ ускорения тушения изолированных подземных пожаров с использованием рециркуляции пожарных газов. На Украине этот способ был успешно применен в 1986 г. на шахте им. А.А. Скочинского при пожаре в конвейерном штреке 5-й восточной лавы [2].

Система разработки на шахте была сплошная, длина лавы 200 м. В выработанном пространстве

лавы пройден вспомогательный ходок с конвейерного штрека на вентиляционный. Абсолютная газообильность выемочного участка $30 \text{ м}^3/\text{мин}$. Через 1 час после возникновения пожара произошло обрушение кровли, расход воздуха в лаве сократился на 30%. Активное тушение пожара стало невозможным, поэтому было принято решение возвести на конвейерном и вентиляционных штреках изолирующие взрывоустойчивые перемычки. Для ускорения тушения пожара было решено применить метод рециркуляции газовой смеси. Для этого в уклоне 8 (см. рис. 1) был смонтирован трубопровод 9 диаметром 0,8 м. В конвейерном штреке был установлен вентилятор ВМЦГ-7. Всасывающий и нагнетательный участки трубопровода были пропущены через перемычки 7 и 11.

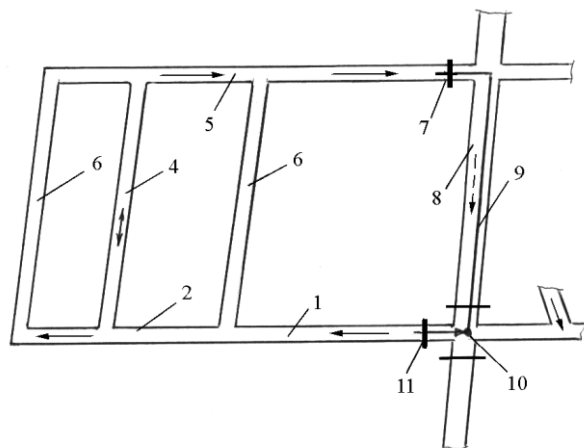


Рис. 1. Схема рециркуляции пожарных газов в изолированном участке шахты им. Скочинского: 1 - 5-й восточный конвейерный штрек; 2 - откаточный штрек; 3 - разрез 5-й восточной лавы; 4 - вспомогательный ходок; 5 - 5-й восточный вентиляционный штрек; 6 - 5-я восточная лавы; 7, 11 - изолирующие перемычки; 8 - уклон; 9 - трубопровод; 10 - вентилятор.

После включения вентилятора продукты горения из вентиляционного штрека поступали в трубопровод 9, а затем вентилятором нагнетались через перемычку 11 в конвейерный штрек 1. Пройдя через очаг пожара 2, они через лаву 3 и вспомогательный штрек 4, возвращались на вентиляционный штрек 5. При этом вентилятор ВМЦГ-7 подавал газовую смесь в том же направлении, что и вентилятор главного проветривания. Расход газовой смеси в контуре рециркуляции составлял $400 \text{ м}^3/\text{мин}$, длина контура - 3040 м. Скорость движения газов перед очагом пожара равнялась $0,5 \dots 0,6 \text{ м/с}$. Через 28 суток после начала рециркуляции температура угля и боковых пород в районе очага пожара снизилась до 50°C , т.е. она была ниже критической, при которой невозможен рецидив пожара. Вскрытие изолированного участка это подтвердило. В процессе реализации этого метода выявились его существенные недостатки, которые заключались в следующем:

1. Нарушение взрывобезопасности. Это связано с тем, что в соответствии с действующими нормативными документами пожары на газовых шахтах должны быть изолированы взрывоустойчивыми перемычками. При рециркуляции проемы в перемычках остаются открытыми, т.к. через них пропускается трубопровод;

2. Увеличение поступления свежего воздуха в изолированное пространство. После завершения работ по изоляции пожара производят «снятие» депрессии с изолированного участка, например, с помощью камер выравнивания давления. При этом депрессия перемычек устанавливается на уровне $5 \dots 10 \text{ Па}$. Во время рециркуляции из-за работы вентилятора перепад давлений на стенках трубопровода и на изоляционных перемычках достигает $5000 \dots 8000 \text{ Па}$, что приводит к резкому увеличению поступления свежего воздуха в изолированный участок, что, в свою очередь, может явиться причиной взрыва метана;

Из-за указанных недостатков описанный способ ускорения тушения пожаров до последнего времени не получил широкого распространения на практике. Кроме того, известно, что при пожарах в наклонных и вертикальных выработках формируется тепловая депрессия. Если последнюю использовать при рециркуляции в качестве источника тяги, то тогда отпадает необходимость в применении трубопровода и вентилятора, повышается безопасность ведения горноспасательных работ. Однако высказываются опасения, что по мере затухания пожара движение газов в изолированном участке прекратится, т.е. этот вопрос остается недостаточно изученным.

Необходимо отметить, что в последнее время проведен комплекс исследований по вопросу повышения эффективности тушения изолированных пожаров. Анализ научно-технической литературы по вопросу ускорения ликвидации изолированных подземных пожаров показал, что с 70-х годов созданию рециркуляции газообразных продуктов горения в выработках изолированного участка уделялось большое внимание. Был разработана типовая технологическая схема, согласно которой осуществляется рециркуляция продуктов горения в замкнутом контуре, предусматривающая отсос газов с помощью вентилятора из-за перемычки, установленной в выработке с исходящей струей, пропуск их через специальную камеру, в которой газы охлаждаются водой, и нагнетание их за перемычку, установленную в выработке с поступающей струей [2,13,20]. С целью нейтрализации утечек воздуха и снижения содержания кислорода в изолированном пространстве рекомендуется подавать в рециркуляционный поток жидкий или газообразный азот. Так, под действием тепловой депрессии на шахте «Миусинская» (г. Красный Луч) и возникновении при этом самопроизвольной рециркуляции продуктов горения. Из-за поступления к очагу пожара продуктов горения резко уменьшилась скорость перемещения его по уклону вверх.

Вопросам формирования тепловой депрессии пожара и методам ее определения посвящено много работ [2,4,15 и др.]. Однако в них тепловая депрессия рассматривается в открытых горных выработках, когда к очагу пожара поступает струя с содержанием кислорода 20...21 %. При рециркуляции к очагу пожара направляется струя с низким содержанием кислорода (до 1...2 %), что не может не сказаться на величине тепловой депрессии. Кроме того, содержание метана в изолированных участках достигает 90...95 % [8,17,18], а из-за использования воды в качестве охлаждающего средства рециркуляционный поток насыщается влагой [2]. Поэтому вопросы, связанные с формированием тепловой депрессии пожара в изолированном участке и изменением ее во времени при рециркуляции, нуждаются в дополнительных исследованиях.

Эффективность тушения пожара методом рециркуляции зависит от количества рециркулируемых газов и величины утечек воздуха через изолированный участок. Режим проветривания последнего определяется внутренними и внешними источниками тяги. К первым относится тепловая депрессия пожара и вспомогательный вентилятор, ко вторым – вентилятор главного проветривания (ВГП) и естественная тяга. В работе [2] рассмотрено влияние совместной работы источников тяги на воздухораспределение в изолированном участке при создании рециркуляции пожарных газов. В ней утверждается, что при сонаправленном действии тепловой депрессии пожара, вспомогательного вентилятора и ВГП утечки воздуха через изолированный пожарный участок минимальны, а при противодействии ВГП первым двум источникам тяги – максимальны. Такое утверждение, на наш взгляд,

сомнительно, поэтому вопрос взаимодействия источников тяги нуждается в дополнительной проработке.

Определение оптимального срока вскрытия изолированного пожарного участка является главной задачей при тушении пожаров методом изоляции, так как при раннем вскрытии возможен рецидив пожара, а неоправданная задержка вскрытия приведет к увеличению экономических потерь. Время вскрытия определяется температурой горных пород и газовоздушной смеси в районе очага горения. Однако существующие в настоящее время методы и средства не позволяют произвести непосредственные измерения указанных параметров. В связи с этим состояние изолированного пожара в настоящее время оценивают по косвенным признакам, например, по наличию в атмосфере изолированного участка оксида углерода. Эти же критерии положены в основу нормативных документов, по которым производится вскрытие изолированных участков [2,9,14]. При рециркуляции оксид углерода не удаляется с изолированного пространства, а повторно подается к очагу пожара, поэтому по его содержанию невозможно судить о стадии пожара.

В работе [15] предложен метод расчета температуры в очаге пожара, расположенного в выработанном пространстве, а в работе [16] дан метод определения температурного поля в изолированных штрекообразных выработках. Указанные методы разработаны без учета конвективного теплообмена, который имеет место при рециркуляции в выработках изолированного участка. Б.И. Медведев разработал методику тепловых расчетов горных выработок при рудничных пожарах [17], в которой учтено влияние температуры на изменение теплофизических параметров пожарных газов и горных пород, на коэффициент теплоотдачи от пожарных газов к стенкам выработок, а также разработан математический аппарат для учета теплообмена излучением и изменения температуры пожарных газов во времени. Поскольку данная методика предназначена для определения температуры вентиляционного потока за очагом перемещающегося пожара, температура которого принимается постоянной, она не может быть использована для тепловых расчетов при рециркуляции газовоздушного потока, т.к. температура очага в последнем случае изменяется с течением времени. Кроме того, данная методика не позволяет рассчитывать температурное поле в массиве горных пород, окружающих аварийный участок. Вместе с тем рекомендации автора в части влияния температуры на условия теплообмена могут быть учтены при разработке методики тепловых расчетов при рециркуляции вентиляционного потока в выработках изолированного участка.

Тепловым расчетам посвящены также работы других авторов [2,16,18,19 и др.]. Однако, приведенные в них зависимости пригодны для тех случаев, когда отсутствует рециркуляция на аварийном участке.

Вопросу расчета температуры пожарных газов при рециркуляции в изолированном участке посвящены работы [2,14,17]. В них даны численные методы расчета температуры в горном массиве и в очаге пожара при горении и после прекращения горения, как в проветриваемой выработке, так и при организации рециркуляционного потока. Эти методы требуют большого объема исходной информации, которую невозможно получить в аварийных условиях. Однако методы исследования и математический аппарат, использованные в данных работах, могут быть применены в процессе разработки простого экспресс-метода расчета температуры пожарных газов в изолированном участке при рециркуляции.

Как отмечалось ранее, вентиляционный способ предупреждения эндогенных пожаров в выработанных пространствах, заключающийся в периодическом изменении направления движения воздуха на выемочном участке. Изменение направления проветривания можно осуществить местным реверсированием вентиляционной струи, если ветвь является диагональю, либо периодическим включением источника тяги, меняющего депрессию участка на противоположное направление. О снижении активности процесса самовозгорания угля при изменении проветривания указывается также в работах [2,14]. Хотя способ многократного реверсирования первоначально предназначался для подавления очагов самонагрева угля в пределах действующего выемочного пространства, его можно использовать для ускорения тушения развившихся сложных пожаров.

Работа [20] посвящена тушению подземных пожаров, расположенных в изолированных участках, многократным опрокидыванием газовоздушного потока. Период опрокидывания выбирается таким, чтобы свежий воздух не успел бы попасть к очагу пожара, продолжительность его авторы рекомендуют находить из выражения

$$t_1 = \frac{(l_1 - 50)S_1}{Q_{ym.1}}, \quad (1)$$

где l_1 - длина выработки за очагом пожара до изолирующей перемычки по ходу движения газовоздушного потока до его опрокидывания, м;

S_1 - средняя площадь поперечного сечения выработки за очагом пожара, м²;

$Q_{ym.1}$ - утечки воздуха через изолированный участок после опрокидывания в нем газовоздушного потока, м³/мин.

Через расчетное время t_1 восстанавливают первоначальное («нормальное») направление утечек воздуха. Продолжительность «нормального» периода авторы работы [2,20] рекомендуют определять по формуле

$$t_2 = \frac{(l_2 - 50)S_2}{Q_{ym.2}}, \quad (2)$$

где l_2 - длина выработки от очага пожара до перемычки по ходу движения газовоздушного потока после его опрокидывания, м;

S_2 - средняя площадь поперечного сечения выработки до очага пожара, м²;

$Q_{ym.2}$ - утечки воздуха через изолированный участок до опрокидывания газовоздушного потока в изолированном участке, м³/мин.

Опрокидывание утечек воздуха авторы рассматриваемой работы рекомендуют осуществлять путем перераспределения вентиляционного давления в шахтной сети, или с помощью источника тяги (вентилятора местного проветривания, эжектора и т.п.). Причем в последнем случае трубопровод предлагается прокладывать через перемычку, чтобы воздух из него поступал непосредственно в изолированное пространство. Следует также отметить, что рекомендованный в работе [2] способ опрокидывания утечек воздуха, при котором свежий воздух через перемычку подается непосредственно в изолированный участок, является взрывоопасным. В случае взрыва в изолированном пространстве ударная волна через открытый проем выйдет за его пределы и может травмировать работников.

Таким образом, вопросы, связанные с применением многократного реверсирования для интенсификации тушения пожаров в изолированных участках, нуждаются в дополнительных исследованиях. А разработка новой эффективной технологии тушения сложных подземных пожаров на основе новых и совершенствования существующих методов тушения и широкое внедрение результатов исследований в практику горноспасательного дела является важной и актуальной проблемой для горнодобывающей отрасли.

Выводы

Проведенный анализ источников и практики тушения сложных подземных пожаров позволяет сделать следующие выводы:

1. Сложные подземные пожары, удельный вес которых не превышает 10%, дают до 90 % всех убытков. Ликвидируются они, как правило, методом изоляции. Проблема повышения эффективности тушения подземных пожаров сводится к сокращению сроков тушения сложных пожаров.

2. Ускорить тушение сложных подземных пожаров можно путем рециркуляции продуктов горения в изолированном участке. Однако применяемая на практике схема рециркуляции с использованием вентилятора местного проветривания в качестве источника тяги и вентиляционного трубопровода для подачи продуктов горения не соответствует условиям безопасности. Иные схемы рециркуляции в практике тушения сложных пожаров широко не апробированы.

3. Основной причиной, препятствующей применению метода рециркуляции продуктов горения при тушении сложных пожаров, является недостаточная изученность процессов формирования в

изолированном пространстве тепловой депрессии пожара и закономерностей изменения ее в процессе повторной подачи продуктов горения к очагу пожара, а также не изученность процессов взаимодействия различных источников тяги (тепловая депрессия, естественная тяга, депрессия ВГП) и на аварийном участке.

4. Для тушения пожаров, по мнению авторов, целесообразно применить метод многократного реверсирования. Однако комплекс вопросов, связанных с безопасностью и эффективностью применения данного метода, характером и длительностью переходных аэродинамических процессов, возникающих на аварийном участке при многократном реверсировании струи, является неизученным.

Список источников:

1. Минеев, С.П. Расследование аварии с двумя взрывами метановоздушной смеси // С.П. Минеев, В.Н. Кочерга, А.И. Дубовик, В.И. Лосев, М.А. Кишкань. - Уголь Украины, 2016, №9-10. - С. 14-22.
2. Смоланов С.Н. Ликвидация сложных подземных аварий методами вентиляционного воздействия. - Днепропетровск: Наука и образование, 2002. - 272 с.
3. Мінеєв, С.П. Дослідження аварії з вибухом метану на шахті «Новодонецька» // С.П. Мінеєв, Е.А. Колесніченко, С.В. Дрозд, С.С. Лисяк, О.М. Бутирський. - Уголь Украины, 2018, №4-5, С. 24-30.
4. Аварийность на предприятиях угольной промышленности Минтопэнерго Украины в 1991 - 2000 гг. - Донецк: НИИГД. - 2001. - 56 с.
5. Булгаков Ю.Ф. Тушение пожаров в угольных шахтах. - Донецк: ДонГТУ, 2001. - 270 с.
6. Минеев, С.П. Враг или друг шахтный метан? Это решают люди // С.П. Минеев. - Охрана труда: Приложение к журналу, 2017, № 12. - С. 49-53.
7. Минеев, С.П. О предупреждении аварий, связанных со взрывами метана в угольных шахтах // С.П. Минеев. - Уголь Украины, 2018, №1-2, С. 50-59.
8. Mineev, S.P. Questions of the analysis of the applicable schemes of conveying the moving sites on Ukrainian mines and effectiveness of degasation // S.P. Mineev, V.N. Kocherga, R.N., Narivskiy, A.S.Yanzhula. - The International Scientific Periodical Journal "Modern Scientific Researches" - Minsk, Belarus, 2018. - Issue №3, Vol. 1 - p. 35-43.
9. Устав ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ. - Киев, 1993. - 44 с.
10. Козаченко В.В., Юрьев А.П. Экономическая оценка последствий подземных аварий // Безопасность труда в промышленности. - 1973.- №7.- С. 38.
11. Рекомендации по принудительной рециркуляции продуктов горения с применением инертных газов в выработках изолированного пожарного участка. - Донецк: ВНИИГД, 1986. - 24 с.
12. Опыт применения рециркуляции продуктов горения при тушении осложнившегося пожара на шахте им. А.А.Скочинского ПО "Донецкуголь" / Белик И.П., Болбат И.Е., Костенко В.К. и др. // Информационное письмо (ДСП) / ВНИИГД.- Донецк, 1987.- 11 с.
13. Болбат И.Е. Тушение подземных пожаров в изолированном участке путем многократного опрокидывания газовоздушного потока // Уголь Украины.- 1995.- №7.- С. 36-37.
14. Эндогенные пожары на угольных шахтах Донбасса. Предупреждение и тушение. Инструкция / НИИГД.- Донецк, 1996.- 72 с.
15. Клещун П.П., Гринь Г.В. К вопросу определения времени безопасного вскрытия изолированного пожарного участка // Разработка месторождений полезных ископаемых.- Киев: Техніка, 1970.- Вып. 18.- С. 92-94.
16. Осипов С.Н., Мильман Г.В., Калюсский А.Е. Расчет оптимальных сроков вскрытия изолированных пожарных участков // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело.- 1969.- №7.- С. 39-44.
17. Медведев Б.И. Тепловые основы вентиляции шахт при нормальных и аварийных режимах проветривания. - Киев-Донецк: Вища школа, 1978. - 156 с.
18. Осипов С.Н., Жадан В.М. Динамика пожара в горизонтальной горной выработке // Уголь Украины. - 1967.- №9.- С. 35-38.
19. Полубинский А.С., Черняк В.П. Теплообмен между горной выработкой и массивом горных пород с локализованным очагом пожара // Докл. АН Украины. - 1996.- №8.- С. 94-97.
20. Болбат И.Е., Зинченко И.Н., Головкин Н.И. Тушение подземных пожаров в изолированном пространстве путем многократного опрокидывания газовоздушного потока // Уголь Украины. - 1995.- №7.- С. 36-37.

Научный руководитель: д.т.н., проф. Минеев С.П.

Рецензент: д.г.н. Баранов В.А.
Статья отправлена: 02.10.2018 г.

А. А. Стукалов, А. К. Шатров

АО «ИСС» имени академика М. Ф. Решетнева»

Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярский край, ул. Ленина, 52

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВСТАВОК В ЭЛЕМЕНТЫ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Доказана эффективность применения закладных вставок. Усилив конструкцию блоковой вставкой можно повысить физико-механические характеристики и снизить массу элементов, что актуально для космической отрасли.

Ключевые слова: конструкция, нормальные напряжения, вставка, закладные элементы, масса.

А. А. Stukalov, A. K. Shatrov

JSC "Information satellite systems" named after academician M. F. Reshetnev»

Russian Federation, 662972, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Lenina str., 52

EFFICIENCY OF APPLICATION OF THE LATERAL PANELS OF THE CONSTRUCTION ELEMENTS OF MACHINE-BUILDING PRODUCTION

Proved the effectiveness of the embedded inserts. Strengthening the design of the side insert can improve the physical and mechanical characteristics and reduce the weight of the elements, which is important for the space industry.

Keywords: design, normal strain, insert, items, weight.

Современные конструкции в условиях эксплуатации подвергаются разным физическим воздействиям: удар, механическая вибрация, акустические, электромагнитные явления и термические явления, ионизирующее и неионизирующее излучение. Несмотря на высокие прочностные показатели материалов, конструкции из них не всегда удовлетворяют требованиям по массе. Использование блоковых вставок в элементы конструкций позволило увеличить запас прочности, при этом масса

конструкций значительно снижается, что очень важно для космической отрасли.

Опыт проектирования конструкций показал, что можно применять не только сплошные, но и многослойные конструкции [1]. Многослойная конструкция – это конструкция, состоящая из трех и более слоев. Роль стенки играет наполнитель, за счет которого разнесены несущие слои, что придает пакету слоев наибольшие нормальные напряжения (рис. 1).

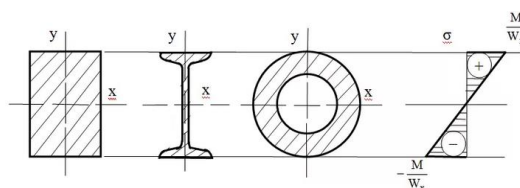


Рис. 1. Распределение нормальных напряжений

Комбинируя материалы несущих слоев и заполнителя можно добиться от конструкции как можно максимальных физико-механических свойств [2]. В случае если вставить вставку в многослойную конструкцию, то можно в разы повысить физико-механические свойства конструкции при относительно малом весе [3].

Рассмотрим раскос авиационной стойки шасси из полимерного композиционного материала, а

именно раскос основной стойки шасси [4]. Раскос представляет собой стержень, соединенный с конструкцией шарнирно.

Полностью из углепластика методом намотки раскос при заданной геометрии не удовлетворяет требованиям по прочности. Фактические напряжения превышают допустимые (рис. 2).

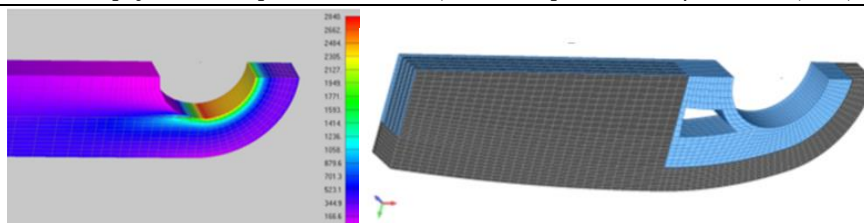


Рис. 2. Нормальные напряжения (МПа) вдоль армирующих волокон и пример вставки

Задача проектирования раскоса решалась при помощи металлической вставки (рис.2) Вставка обеспечивает прочность на смятие в шарнире и распределяет нагрузку равномернее, чем полностью в углепластиковом варианте.

В результате получилась общая масса конструкции шасси – 34,5 кг. В случае если бы была

применена сталь, то масса бы получилась около 60 кг.

Применение закладных элементов в трехслойных конструкциях положительно сказывается на физико-механические характеристики конструкции [5]. Для проведения расчета была представлена КЭМ модель соты с закладным элементом (рис. 3).

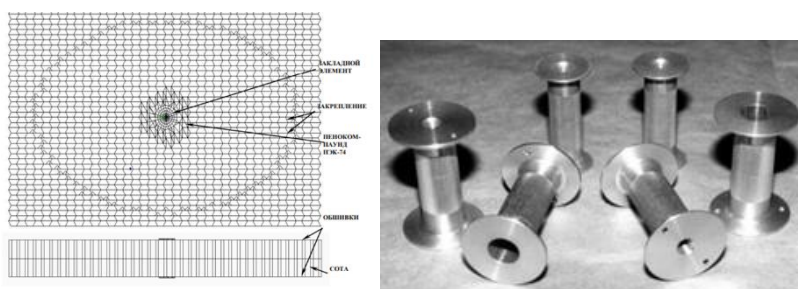


Рис. 3. КЭМ соты с закладным элементом

В результате расчета были получены поля напряжений и перемещений для всех узлов КЭМ закладного элемента.

Из проведенных расчетов видно, использование вставок имеет перспективное значение для конструкций машиностроительных производств. Сотовые конструкции с блоковыми вставками наиболее выгодны по соотношению прочности, жесткости и веса.

Уменьшая массу несущих конструкций, можно увеличить массу полезной нагрузки космических аппаратов.

Библиографические ссылки

1. Панин В. Конструкции с сотовым заполнителем. М. : Машиностроение, 1982. 152 с.
2. Ендогур А. Сотовые конструкции: Выбор параметров и проектирование. М. : Машиностроение, 1986. 198 с.
3. Двейрин А. Сотовые конструкции в самолетах АНТК им. Антонова: опыт применения и перспективы. Москва. : Академия, 2013. 162 с.
4. Разработка конструкции и технологии изготовления высоконагруженных элементов шасси авиационных изделий из полимерных композиционных материалов / В. Н. Вякин, Козлов Д. М., Пересыпкин В. П. и др. // ИМАШ РАН. 2014. С. 52.
5. Расчет на прочность трехслойной конструкции и закладных элементов / Г. Д. Кесельман, Зимин И. И., Данилов Е. И. и др. // Конструкции из композиционных материалов. 2006. № 1. С. 6–15.
6. Шендалев Д. О. Исследование напряженно-деформированного состояния сотовой конструкции

с закладными элементами // Тез. Докл. 8 Всерос. науч. конф. с международным участием, посвященной 80-летию академика М.Ф.Решетнева. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004. С. 98–99.

References

1. Panin, V. Design with a honeycomb core. M.: Mechanical Engineering, 1982. 152 p.
2. Endogen A. Cell construction: the Choice of parameters and design. M.: Mechanical Engineering, 1986. 198 p.
3. Darin A. Cell structure in planes of ANTK im. Antonova: experience and prospects. Moscow. : Academy, 2013. 162 p.
4. Design and manufacturing of high-loaded elements of the chassis of aviation products from polymeric composite materials / V. N. Wakin, Kozlov D. M., Peresypkin, V. P. etc. // IMASH. 2014. P.52.
5. Calculation of the strength of the three-layer structure and embedded elements / G. D. Keselman, Zimin I., Danilov E. I., etc. / / Construction of composite materials. 2006. No. 1. P. 6-15.
6. Sandali D. O. investigation of the stress-strain state of a cellular structure with embedded elements // proc. Doc. 8 vseros. science. Conf. with international participation, dedicated to the 80th anniversary of academician M. F. Reshetnev. under the General editorship of Y. Y. Loginov ; Sib. state aerospace. Univ. of Illinois Krasnoyarsk, 2004. P. 98-99.

Фик Александр Ілліч,*кандидат технічних наук, доцент, доцент Національної Академії Національної гвардії України
м.Харків, Україна***ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ХАОТИЧНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ
СИМВОЛІЧНОЇ ДИНАМІКИ.****Fyk O.I.****THEORETICAL ANALYSIS OF CHAOTIC DYNAMIC SYSTEMS BY METHODS OF
SYMBOLIC DYNAMICS.**

Candidate of engineering sciences, associate professor, National Academy National Guardia of Ukraine

У статті проведено результати досліджень і даються рекомендації щодо використання рівнянь що описують виникнення хаотичних станів в приймальний тракті радіотехнічної системи при впливі електромагнітного імпульсу, що проникає через антенно-фідерних тракт.

The article contains the results of research and gives recommendations on the use of equations describing the origin of chaotic states in the receive tract of the radiotheic system under the influence of an electromagnetic pulse penetrating through the antenna-feeder path.

Ключові слова: *хаотичний стан; символічна динаміка; хвилевід.***Keywords:** *chaotic condition; Symbolic dynamics ; waveguide.***Постановка проблеми.**

Сучасне радіоелектронний пристрій (РЕП) являє собою складну систему, що володіє багаторівневою ієрархічною організацією, динаміка якої має суттєво нелінійний характер. Така структура РЕП визначається складністю завдань, які їй необхідно вирішувати. У той же час і сучасна електромагнітна обстановка стає все більш і більш складною, в зв'язку з чим робота РЕП передбачає наявність масованих потоків інформації як між блоками РЕП, так і між РЕП і його електромагнітним оточенням.

Тому, слід розрізняти два режими роботи радіоелектронних пристроїв:

–Функціональний;

Інформаційний.

Однак на відміну від функціональних режимів роботи, інформаційний режим роботи РЕП (радіоелектронного пристрою) обмежений граничними значеннями, обумовленими порушенням функціонування I класу (Порушення штатного функціонування пристрою або відхилення його основних характеристик від допустимих для нормальної експлуатації величин без виходу всього пристрою або його компонентів з ладу. Після припинення зовнішнього впливу, спостерігається повне відновлення штатних характеристик пристрою). Такі інформаційні потоки в радіоелектронних пристроях мають електромагнітну природу. Інтенсивність цих потоків пов'язана зі складністю ієрархічної структури радіоелектронної апаратури. Електромагнітна природа цих потоків визначає інформаційну природу взаємодії зовнішніх електромагнітних сигналів і радіоелектронних пристроїв.

Таким чином існує можливість не виходячи за рамки функціонального рівня (штатного режиму роботи) суттєво впливати на роботу електронних пристроїв і керувати ними на інформаційному рівні. Однак, для визначення критеріальних параметрів на функціональному рівні були визначені порогові, енергетичні характеристики сигналів, то для

визначення інформаційного рівня важливі інші –інформаційні характеристики сигналів як впливають на апаратуру, так і поширюються в ній. Слід зауважити, що амплітуди зовнішніх сигналів при цьому можуть бути набагато нижче порогових значень для I-го рівня порушення функціонування РЕП.

Інформаційні характеристики, слід розділити на два класи:

Статистичні, до яких відносяться переважна більшість використовуються зараз параметрів (кореляційні функції, кореляційний і фрактальна розмірність, кількість інформації з точки зору Шеннона, ентропія і.т.д.);

Мовні, інформаційно - контекстні (такі як цінність інформації, граматична і семантична структура зовнішніх сигналів).

Очевидно, що при розгляді інформаційного режиму роботи радіоелектронного пристрою (РЕП) має місце контекстно-часова структура зовнішнього впливу. Для здійснення проблем управління радіофізичними пристроями на інформаційному рівні розробляються генератори нестационарних послідовностей імпульсів (фрактально-вейвлетного генератори), які мають складну контекстно-часову структуру. Одночасно розвиваються і нові діагностичні методи аналізу часових рядів складної структури.

У цій статті представлені деякі основні результати по розробці нових методів діагностики складних траєкторій, що описують еволюцію радіотехнічних систем.. Застосування такого аналізу дозволяє виявити основні особливості збудження хаотичних режимів в приймальних пристроях РЕП під впливом фракталізованих сигналів різної структури.

Огляд останніх досліджень і публікацій.

Символічна динаміка має справу з глобальними стійкими властивостями динаміки[1-5], без завдання фазових траєкторій. Розбиваючи фазовий простір (або простір станів) на кінцеве число час-

ток, і ставлячи у відповідність кожному з них символ (букву) з деякого кінцевого алфавіту L , можна перейти від розгляду траєкторій в фазовому просторі до розгляду символічних послідовностей [1-7]:

$$\omega = \{\omega_n\}_{n=0}^{\infty}; \omega = \omega_0 \omega_1 \omega_2 \omega_3 \dots$$

де $\omega_n \in L$ - буква деякого алфавіту. Послідовність відповідає траєкторіям досліджуваної системи, а відображення $\sigma\{\omega_N\} = \{\omega_{N+1}\}$ відповідає руху уздовж цих траєкторій. Метричні характеристики хаотичної системи, такі, як кореляційні і статистичні властивості, однозначно переносяться на властивості відповідних символічних послідовностей (при відповідному розбитті).

Топологічна ентропія в рамках символічної динаміки визначається як [1]:

$$h_T = \sup \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log K(n)}{n} \quad (1)$$

де $\sup$ береться за всіма можливими розбиття фазового простору, а $K(n)$ є число всіх допустимих слів довжини n . Якщо алфавіт складається з m символів, тобто число відповідних елементів розбиття - m , то топологічна ентропія досягає свого верхньої межі при $K(N) = m^n$:

$$h_T = \log m$$

Метрична ентропія Колмогорова-Синая визначається як:

$$h_m = \sup \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{H(K(N))}{n}$$

$$\text{де } H(K(n)) = - \sum_{k(n)} e$$

$$P(\omega_0 \dots \omega_{n-1}) \log P(\omega_0 \dots \omega_{n-1})$$

Цей інваріант оцінює складність системи (і відповідну символічну послідовність) "в цілому".

Символічна послідовність може бути розглянута в рамках двох формалізмів, ідеологій [2], [3]. З точки зору теорії інформації вона представляє собою конкретне повідомлення, а динамічна система - джерело повідомлень. В цьому випадку аналогом метричної ентропії Колмогорова-Синая виступає питома ентропія джерела Шеннона-Макмилана [2]:

$$h_m = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} - \sum_i P_i(n) \log_2 P_i(n)$$

де $P_i(n)$ - ймовірність виявити в напівнескінченній повідомленні слово довжини n типу i . Якщо алфавіт складається з m різних символів, то число всіх можливих слів $N = m^n$, де n - довжина слова. При цьому, номер слова i може бути визначений як число в m - рангній системі розкладання, записом якого є саме слово.

Для хаотичних послідовностей $h > 0$. Для марковського процесу порядку s , Шеннон показав, що ентропія джерела досягає верхньої межі при $n = s$.

Якщо послідовність періодична з періодом p , тоді $h = 0$.

З точки зору термодинаміки, символічна послідовність може бути розглянута, як класичний одновимірний решітчатий газ [3]. При цьому символ вказує тип частинки, що знаходиться в точці (

"сплав") або число заповнення ("газ"). Ансамбль для такої системи визначається мірою на безлічі можливих конфігурацій системи всередині обмеженої області Λ довжиною p .

Існує m^n таких конфігурацій, що задаються всілякими наборами-словами: $\omega_0 \dots \omega_{n-1}$, кожної з яких в ансамблі приписує певну вагу. Питання про розподіли для великого канонічного ансамблю таких термодинамічних систем, за відповідних умов, може бути вирішене в рамках класичної термодинаміки Гіббса-Больцмана. Такий підхід лежить в основі термодинамічної формалізму символічної динаміки Рюеля-Боуена-Синая [23,24].

Інформаційний і термодинамічний підхід до символічної динаміки взаємно доповнюють один одного і дозволяють при цьому конструктивний опис глобальних властивостей хаотичних систем, використовуючи уявлення про "складності", "інформації", "взаємодії" і "рівновазі". Тому, розглянемо особливості використання таких підходів для опису деструктивних (фракталізованих) впливів радіотехнічної системи (РТС) рівні яких знаходяться у межах динамічного діапазону РТС

Формулювання завдання дослідження. Мета статті - моделювання процесу інформаційного впливу фракталізованих сигналів на радіотехнічні і оцінки можливості виникнення деструктивної хаотизації приймального тракту РЕП

Виклад основного матеріалу дослідження

1. Символічна послідовність як "текст": складність і мову розподілу Ципфа.

З точки зору теорії інформації символічна послідовність, породжена деякою динамічною системою, може бути розглянута як повідомлення [2-9]. З точки зору математичної лінгвістики - як текст. В обох випадках виникають конструктивні аналогії, що дозволяють ввести нові характеристики динамічних систем.

1.1. Складність символічної послідовності.

Питання про складність даної послідовності (в строгому теоретичному сенсі - напівнескінченний, а в реальності - досить довгий, слід вирішувати в рамках теорії алгоритмічної складності [25].

Нехай A - деяка абстрактна обчислювальна машина (наприклад машина Тьюринга) в яку вводяться "програми", тобто кінцеві послідовності з 0 і 1 , і на виході якої ми отримуємо слова x деякого алфавіту Z ; довжиною програми ми будемо називати кількість знаків в ній. Складністю $K_A(x)$ слова x щодо машини A називається мінімальна з довжин всіх тих програм, які друкують на виході слово x (якщо таких програм не існує, то $K_A(x) = +\infty$). Центральною є теорема А.Н.Колмогорова про існування такої машини B ("мінімальна машина"), що для всіх кінцевих слів x :

$$K_A(x) \leq K_B(x) + C_A \quad (2)$$

причому C_A залежить лише від A , але не від x . Величина $K_B(x)$ зветься складністю слова x . Будемо позначати її просто $K(x)$. Розглянемо символічну послідовність, що породжується динамічною системою f :

$$\omega = \omega_0 \omega_1 \dots \omega_{n-1} \omega_n$$

Яка відповідає початковій точці x . Вважаємо тепер: $K_f(x) = \sup K_f(x/\varepsilon)$

Остання величина і зветься складністю траєкторії точки x в динамічній системі f [26]. І Звісно, що $0 \leq K_f(x) \leq 1$. Випадок точного правого рівності $K_f(x)=1$ означає, що дана послідовність є абсолютно випадковою, так що не існує способу задати її, крім як виписуючи всі її елементи.

Складність траєкторії точки x тісно пов'язана з тим, наскільки швидко "забуваються" початкові умови, тобто з проблемою точності завдання початкової точки. У цьому випадку сама динамічна система розглядається як "машина", а початкові умови як "програми".

Розглянемо "tent-map", тобто перетворення:

$$Tx = 2x \bmod 1, \quad X_{n+1} = Tx_n \quad (3)$$

Перетворення (3) тісно пов'язані з двійковим (за основою 2) розкладанням точок одиничного інтервалу.

$$\text{Так,} \quad f(x) = \begin{cases} 0, & x < 1/2 \\ 1, & x \geq 1/2 \end{cases} \in \text{n-мірним}$$

знаком розкладання. Отже, якщо розкладання x має вигляд $x=0, \omega_0, \omega_1, \omega_2, \dots$, то $x=0, \omega_1, \omega_2, \dots$. Таким чином, символічна траєкторія при цьому початковому умови x являє собою запис двійкового розкладу останнього, а однієї ітерації відповідає операція зсуву.

$$\sigma(\omega_i) = \omega_{i+1}$$

Якщо необхідно отримати N перших символів динамічної траєкторії

$$\omega_N = \omega_0 \omega_1 \dots \omega_{N-1},$$

то необхідно задати початкову умову x з точністю до $N-1$ знака двійкового розкладу, тобто просто створити послідовність, очевидно, що при цьому $K_f(x)=1$.

Для безлічі, що рахується початкових умов x , які є раціональними числами, розкладання є кінцеве або періодичне, і тоді $K_f(x)=0$.

Таким чином, складність дозволяє розрізнити індивідуальні траєкторії, в той час як топологічна і метрична ентропія характеризує "складність" динамічної системи в цілому. Колмогоровська складність, яка оцінює закономірності, що лежать "за" статистичними властивостями, є новим інваріантом, який не зводиться до ентропійних характеристик послідовності.

К.Малер довів, що якщо $P(x)$ - многочлен, що приймає натуральні значення при $x = 1, 2, \dots$, то при будь-якому натуральному q , $q \nmid 2$, число

$$\alpha = 0, q_1 q_2 q_3 \dots q_n \dots$$

де q_n - група знаків в розкладанні числа $P(n)$ в системі числення з основою q , буде нормальним.

Нормальність числа α (по Бореля [5]) означає, що всі можливі послідовності $\omega_0 \dots \omega_{N-1}$ довжиною N зустрічаються в q -ічному розкладанні числа з асимптотичною частотою $p = 1/q^N$ (q в нашому випадку - розмір алфавіту). Це означає, що для такої послідовності $h_T(\omega=q_1 q_2 \dots) = h_M(\omega) = \log q$. Таким чином, обидві ентропії досягають максимального значення. Така послідовність з точки зору теорії

імовірності є чисто випадковою. Нехай, зокрема, $P(x) = x$ і $q = 2$. тоді:

$$\omega = 011011100101110111 \dots$$

а саме. являє собою ряд 0123456789101112 ..., записаний в двійковій системі.

Спостерігаючи за послідовністю $\omega = 011011100101110111$, ми ніяким конструктивним способом (в рамках теорії імовірностей, використовуючи статистичні тести) не зможемо визнати її "менш випадкової", ніж аналогічну послідовність, що отримується підкиданням монети. Однак, вона має нульову складність, тому що її програма $X = \{p(x) = x; q = 2; x_{n+1} = x_n + 1\}$ та має кінцеву довжину.

1.2 Мова хаотичних систем.

В [6] передбачалося, що складність повинна бути тісно пов'язана з числом граматичних правил, які допускають або забороняють певні ланцюжка символів, що виникають в символічній послідовності. При цьому остання може бути розглянута, як текст, написаний певною мовою з кінцевим алфавітом. Такий підхід аналогічний теорії граматичної складності, побудованої Вольфрам для клітинних автоматів [7]. Він виявився дуже плідним у разі дискретних відображень і був розроблений в серії робіт [8]. В роботі [9] в якості оцінки складності була запропонована величина

$$C = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\ln N_+(n)}{n}$$

Теорія граматичної складності спирається на теорію формальних граматик Хомського [10], яка описує процес породження тексту як жорстко детермінований, заданий "глибинною структурою" мови - набором граматичних правил, в нашому випадку - структурою, що породжує машини Тьюринга.

Однак в [6] також вказувалося на те, що якщо перейти від квазіперіодических аттракторів відображень до дійсно хаотичним аттракторам безперервних динамічних систем (Лоренца, наприклад) і поставив завдання їх класифікації, то ідеологія граматичної складності по Хомського не є найбільш ... (most suitable scale for this dynamics).

З іншого боку, імовірнісний аспект символічної динаміки передбачає опис за допомогою марківських ланцюжків [1]. Цей підхід також виявився адекватним в разі повністю розвинутого хаосу в одновимірних відображеннях, а також при описі нелінійних систем, що володіють властивістю гіперболічності.

Ці два підходи мають свої аналоги в теоретичній і математичній лінгвістиці: "імовірнісна" теорія марковських ланцюгів і альтернативна їй теорія Хомського. Обидва вони критикувалися Дж.А.Міллером [11]. З його точки зору процес породження тексту представляє собою вид діяльності, що займає проміжне положення між повною визначеністю (що розуміється в дусі Хомського, як певною структурою машини Тьюринга) і повної випадковості, що розуміється в дусі "імовірнісної" теорії, тобто тексту як повідомлення, що породжується марковским джерелом). Редукціонізм цих двох концепцій є "однобоким": зв'язку між

послідовними символами (під якими в разі природних мов треба розуміти слова, а не букви алфавіту, які дійсно відповідають Марковському розподілу) обмежують можливості, але послідовності не направляються ними за одним і тим самим шляхом.

Система правил обмежують безліч допустимих в даній мові послідовностей символів, задаючи "напрямок" подальшого "виробництва" тексту, але всередині цього "напрямку" є, насправді, бути може, незліченну безліч "правильних" продовжень даного тексту. При цьому вирішальне значення має саме динаміка процесу "породження" тексту.

Таким чином, складність принципово відрізняється від ентропії, яка показує, наскільки послідовність є "добре випадкової".

Вважаю, що подібна ситуація може мати генетичний зв'язок з лінгвістичною ситуацією, як і в разі дивних атракторів безперервних динамічних систем. Наприклад, розглянемо динамічну систему Лоренца:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -\sigma x + \sigma y \\ \dot{y} &= rx - y - xz \\ \dot{z} &= -bz + xy \end{aligned} \quad (4)$$

Вона має за певних параметрів (σ, b, r) дивні атрактори з розмірністю вкладення 3 [12].

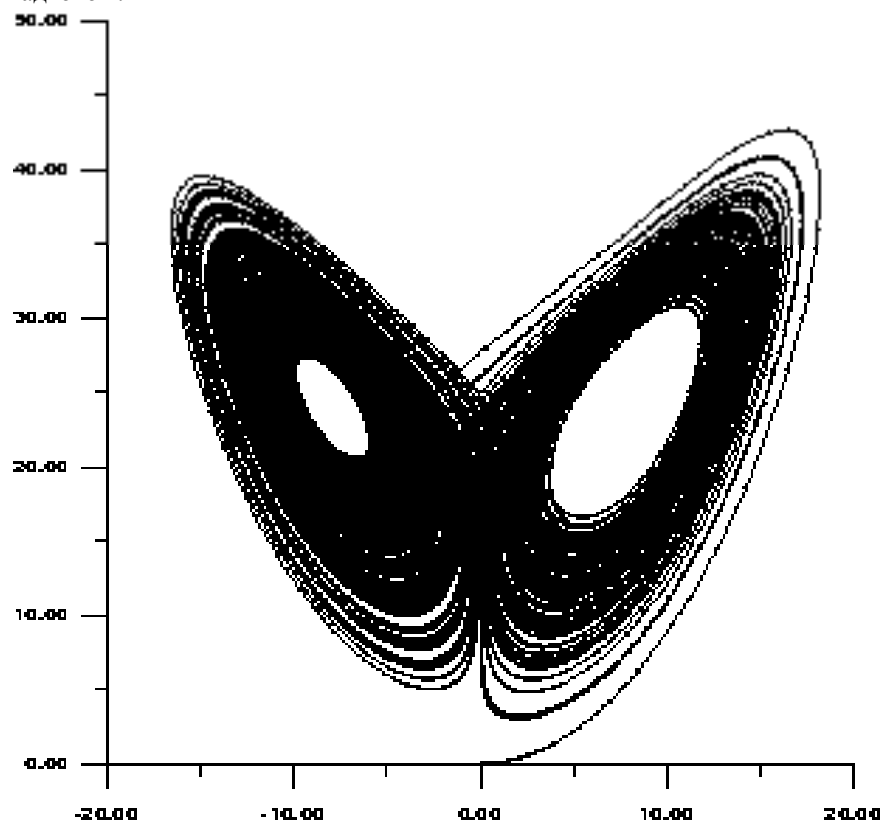


Рисунок 1–Дивний атрактор Лоренца

Розіб'ємо тривимірне фазовий простір відповідно до двох "пелюстками", які представляються символами "0" і "1" (рис.1). Тоді кожна траєкторія може бути відображена єдиним чином на символічну послідовність $\omega = \omega_0, \omega_1, \omega_2, \dots$ так що символ 0 (1) відповідає витка траєкторії навколо нестійкою нерухомою точки $x_1 < 0$ ($x_2 > 0$). Іншими словами, якщо локальний максимум компонента x , $x_m < 0$, тоді $\omega_i = 0$, в інакше $\omega_i = 1$.

Відповідна символічна динамічна система визначається як:

$$\omega \rightarrow \hat{\delta}(\omega) = \omega' \quad (5)$$

так що ; $\omega' = \{\omega_{i+1}\}$

Інтерес представляє безліч всіх допустимих бінарних послідовностей. Це послідовності, породжувані системою Лоренца (при даних значеннях параметрів σ, b, r) для усіх початкових станів x_0 на аттракторі.

Чисельні експерименти вказують на те, що статистична структура допустимих послідовностей $\sum_F$ підкоряється закону Ціпфа-Мандельброта (рис.2).

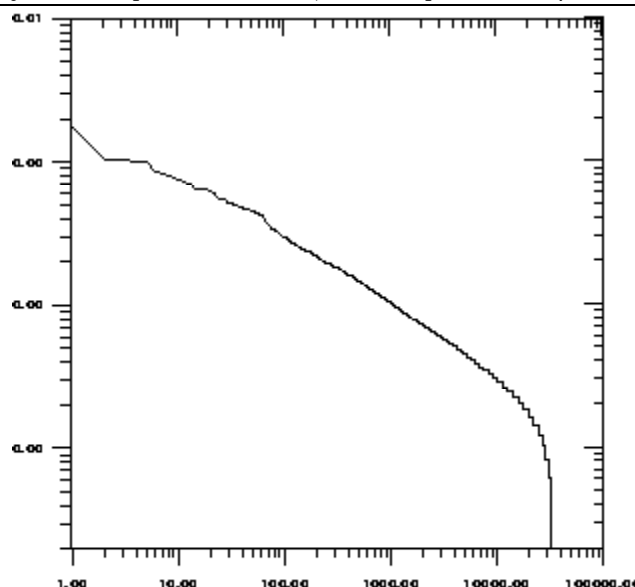


Рисунок 2—Графік Ципфа для символічної послідовності, що генерується аттрактором Лоренца при $\sigma = 10, b = 8/3, r = 25$

Це означає, що термодинамічний опис аттрактора Лоренца слід проводити в рамках формалізму розширеної термодинаміки Тсалліса [13]-[15]]

Статистична структура послідовностей принципово відмінна від марковських: кореляційна функція має статечні "хвости" та кореляції носять неінтегруємих характер. Така послідовність являє собою єдине ціле, т.к енергія взаємодії "підсистем" такий "системи" перевищує енергію окремих "підсистем". Розглянемо більш детально.

2. Термодинаміка фрактальних послідовностей (Ентропія Тсалліса і закон Ципфа.).

Кожна символічна послідовність може бути розглянута як якийсь "текст", що володіє певною статистичною структурою. Статистичні особливості такого "тексту" відображають стійкі інваріантні властивості відповідної динаміки, в тому числі і характер кореляцій. Отже, завдання може бути сформульована таким чином: досліджувати і отримати кількісну оцінку глобальних властивостей даної символічної послідовності, таких як характер кореляцій і статистична структура.

Без втрати спільності ми розглянемо тут випадок бінарних послідовностей, тобто послідовностей з алфавітом $\{0,1\}$.

Раніше, в роботі [5], використовуючи метод n-рівневого (туплевого) аналізу Ципфа, була досліджена статистична структура бінарних послідовностей з короткими (експонентними) марковськими або довгими кореляціями.

Суть цього методу полягає у визначенні нормованої частоти появи $\omega(R)$ даного "слова" - бінарної комбінації довжини n (n-туплю, користуючись термінологією [5]) в залежності від його рангу R.

Ранг R визначався як номер слова в упорядкованому по спадаючій частоті безлічі всіх можливих слів довжини n (їх число $N = 2^n$ так що $R = 1$ відповідає найбільш зустрічаються, $R = 2$ - наступне по частоті і т.п.

Було виявлено, що в разі довго-корельованих послідовностей в широкому діапазоні значень R (за винятком значень, близьких до граничних $R = 1$ і $R = 2^n$ гістограма частоти $\omega(R)$ убуває з ростом рангу R приблизно за степеневим законом:

$$\omega \propto R^{-\zeta} \quad (6)$$

де ζ отримала назву показника Ципфа. Він може бути виявлений експериментально як коефіцієнт нахилу графіка Ципфа (графік $\omega = \omega(R)$ в подвійному логарифмічному масштабі).

Також було виявлено проста, приблизно лінійна, залежність між показником α [5], що характеризує далекі кореляції і показником Ципфа ζ .

Короткокорельовані марковські послідовності не мають степеневі залежності (6). Чисельні результати вказують швидше на експоненціальне убавання $\omega(R)$ з ростом R.

З термодинамічної точки зору бінарна послідовність може бути розглянута як одновимірний решітчатий газ, де "0" відповідає вакантному вузлу, а "1" - зайнятому атомом. При певних умовах питання про кореляції і статистику різних n-рівневою може бути розглянуто в рамках класичної термодинаміки Гіббса-Больцмана, використовуючи уявлення про "енергії" і "взаємодії". Цей підхід лежить в основі термодинамічної формалізму Сина-Рюеля-Боуена (SRB-формалізм) [6]. Енергія стану X_0 нескінченної бінарної послідовності

$$X = \dots x_{-2} x_{-1} x_0 x_1 x_2 \dots = \{x_i\}_{i=-\infty}^{\infty}; x_i \in \{0,1\} \quad (7)$$

внесок в повну енергію "системи" послідовний пов'язаний з появою стану x_0 , може бути визначена за допомогою потенціалу взаємодії:

$$\varphi(x_0) = \varphi(X) = U(x_0, x_1, x_{-1}, x_2, x_{-2}, \dots, x_n, x_{-n}, \dots) \quad (8)$$

Характер убавання потенціалу U тісно пов'язаний з кореляційною структурою послідовності. існує ряд $\alpha = \{\alpha_n\}_{n=1}^{\infty}, \alpha \rightarrow 0$, такий що:

$$\sup(U(x_0, x_1, x_{-1}, \dots, x_n, x_{-n}, x_{n+1}, x_{-n-1}, \dots) - U(x_0, x_1, x_{-1}, \dots, x_n, x_{-n})) \leq C \alpha_m \quad (9)$$

Це означає, що величина взаємодії може змінюватися не більше ніж на $2C\alpha$ при довільних варіаціях змінних x_m ($m \geq n+1$). У випадку коротких кореляцій відповідає ряд $\alpha_n = p^n$, $0 \leq p < 1$ випадку великих $\alpha_n = p^{-s}$, $s > 0$ Існування стійкої статистичної структури послідовності означає її інваріантність щодо гомеоморфізму зсуву. Це, в свою чергу означає, що умова (9) виконується для будь-якого x_i .

Останнє аналогічно вимогу трансляційної інваріантності структури рівноважних станів. До допустимих рамок SRB-формалізму послідовностям пред'являється дві вимоги:

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n < \infty &\rightarrow \text{вимога } a \\ \sum_{n=1}^{\infty} n \alpha_n < \infty &\rightarrow \text{вимога } б \end{aligned} \quad (10)$$

Послідовності, що задовольняють обидві умови є, слідує Рюелю, системами "взаємодія в яких такі, що система проявляє термодинамічне поведінку" [7]. Рівноважні стану для таких систем конструктивно визначені і їх структура в термодинамічній межі визначається розподілом Гіббса

$$p_j = \frac{e^{-\beta E_j}}{\sum_{j=1}^{2^n} e^{-\beta E_j}} \quad (11)$$

Такі послідовності (10) можуть розглядатися як "канонічні ансамблі" "микросистем" - n рівню.

У разі марковської послідовності першого порядку енергетичний спектр повністю визначається значеннями перехідних ймовірностей $\square (0,0)$ частота даного n-рівня залежить тільки від числа k послідовних пар з різними бінарними значеннями

$$\omega = \frac{1}{2} \{ q^k p^{n-1-k} \}$$

Ми можемо отримати статистику (10) визначивши енергетичний спектр наступним чином:

$$E_k = -\log \{ q^k p^{n-1-k} \} \quad (12)$$

що відповідає взаємодії найближчих сусідів з парним потенціалом:

$$U(x_i, x_{i+1}) = -\ln \rho(x_i, x_{i+1})$$

У цьому випадку енергія є адитивною величиною і, очевидно, марковська послідовність є найкращим прикладом "термодинамічної" послідовності.

На рис. 3 зображено типовий графік Ципфа марковської послідовності.

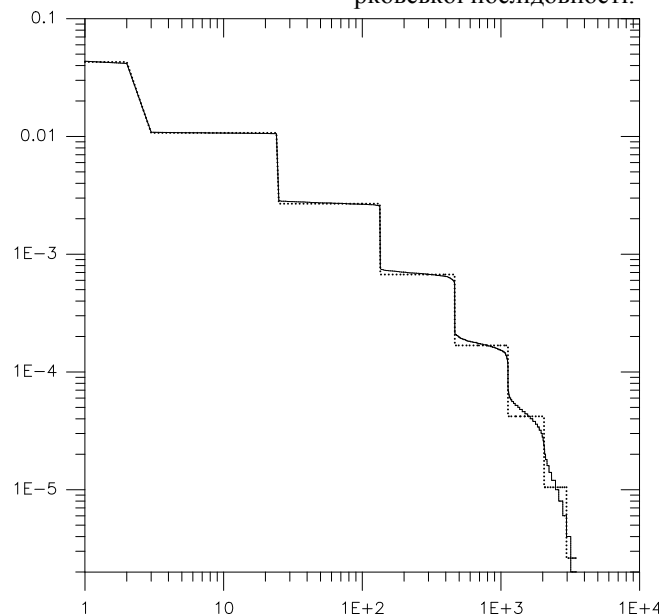


Рисунок 3— Розподіл Ципфа для марковської послідовності з перехідною ймовірністю.

Примітка: Суцільна лінія відповідає даним, отриманим в чисельному експерименті, пунктирна - точному рівнянню енергетичного спектра.

Ступінчастий характер пояснюється сильною виродження енергетичного спектру.

У разі віддаленокорельованих послідовностей можливо три різних ситуації відповідно до виконання умов (а) і (б) вираз (10).

Якщо $s > 2$ тоді обидва умови виконані, відповідна послідовність "термодинамічна" і допустима в рамках SRB-формалізму. При $1 < s < 2$ умова (б) вираз (10) невиконується. Цей випадок розглядався Дайсоном [8]. Було показано, зокрема, що в цьому

випадку, на відміну від випадку "термодинамічних" послідовностей, виникає свого роду фазовий перехід, пов'язаний з виникненням кореляцій великого порядку. Останнє означає, що кореляція між віддаленими позиціями x_i і x_j не прагне до нуля при $|i - j| \rightarrow \infty$ так що для умовної ймовірності $p = (\{x_i=1\} / \{x_j=1\}) = \rho(i/j)$ отримаємо $\lim_{|i-j| \rightarrow \infty} \rho(i/j) > 1/2$. Однак, питання про структуру множини граничних станів залишається відкритим. Але найціка-

вішим, є третій випадок, коли обидва умови не виконуються. Взаємодія має неінтегруємих форму $U(r) \propto r^{-s}$, $s \geq 1$ і відповідні послідовності виходять за рамки класичної термодинаміки. Вони являють собою гранично структуровані системи, в яких кожен елемент пов'язаний з будь-яким іншим, який як завгодно далеко віддалений.

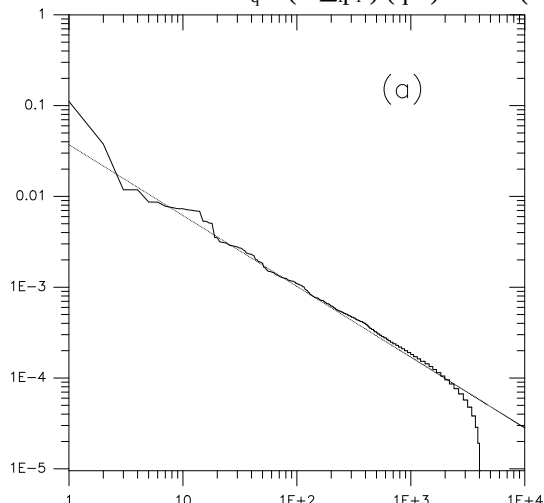
Описані процеси можна пояснити наявністю тісного взаємозв'язку між розглянутими послідовностями, процесами аномальної дифузії і фрактальними кривими. Цей взаємозв'язок може бути реалізована за допомогою процедури відображення бінарної послідовності в одновимірне випадкове блукання. ("random walk", RW-алгоритм) [9] і може бути охарактеризована кореляційним показником α [10]. Крім того, розмірність відповідної самоафінної фрактальної кривої [4] буде:

$$D = 2 - \alpha \quad (13)$$

При α близькому до 0.5, в послідовності немає кореляцій або присутні тільки короткі. Якщо α істотно різниться від 0.5, це означає наявність далеких кореляцій з $s \geq 2$ (випадок не виконання умов (10)).

Існування статистичної збіжності до негіббсовського розподілу (7) з одного боку і "аномальний" характер віддаленокорелюваних послідовностей з іншого, дає підстави вважати, що природним формалізмом для опису статистичної структури може служити узагальнена статистична термодинаміка (УСТ) запропонована Тсаллісом [11]. Раніше цей формалізм був використаний для побудови термодинамічної теорії аномальної дифузії [12] і фрактального випадкового блукання [13]. Суть УСТ складається в альтернативного визначення врівноваженої ентропії системи, коли ймовірність знаходження її у i -му мікроскопічному стані це p_i :

$$S_q = k(1 - \sum_i p_i^q) / (q-1) \quad (14)$$



a

де k – позитивна константа, а індекс q визначає індивідуальну статистику. Для $q \rightarrow 1$ і $k = k_b$ ми отримуємо звичайне визначення Больцмана. Застосовуючи принцип максимуму ентропії S_q за виконання умови нормування: $\sum_i p_i = 1$ та узагальненнями умов збереження середньої енергії: $\sum_i E_i p_i^q = E_q$ отримуємо наступну форму розподілу:

$$p_i = p(E_i) = \frac{1}{Z_q} [1 + \beta(1-q)E_i]^{\frac{1}{q-1}} \quad (15)$$

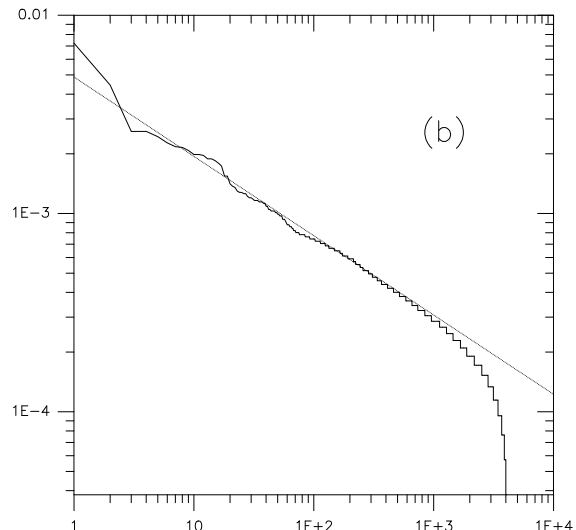
$$Z_q = \sum_i [1 + \beta(1-q)E_i]^{\frac{1}{q-1}}$$

де β – позитивна константа, яка відіграє роль лагранжевого множника. Зауважимо, що індекс q повинен бути більше або дорівнює одиниці. При $q = 1$ ми отримуємо розподіл Гіббса (12), що відповідає випадку коротких кореляцій.

Для дослідження реакції радіотехнічної системи на електромагнітний сигнал малої амплітуди але хаотичної часової структури пропонується генерувати віддаленокорелювані фрактальні послідовності використовуючи процедуру послідовних випадкових додавань, яка запропонована Фоссом [14]. Цей метод дає послідовність дійсних чисел $y(t)$, розподілених з інтервалом Δt , з якої ми отримуємо відповідну бінарну послідовність x_i використовуючи зворотний RW-алгоритм

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{if } y((i+1)\Delta t) \geq y(i\Delta t) \\ 0, & \text{if } y((i+1)\Delta t) < y(i\Delta t) \end{cases} \quad (16)$$

Були досліджені послідовності довжиною $L = 10^7$ біт і числом кроків процедури Фосса $M = 18$. Слід зауважити, однак, що лінійний характер графіка Ципфа проявляється вже при довжині порядку використання. На Рис.4 (а). наведений графік Ципфа фрактальної бінарної послідовності при $n = 12$



b

Рисунок 4– Графік Ципфа фрактальної бінарної послідовності:

а–Графік при $n = 12$: $\alpha = 0.9$ ($D = 1.1$);

б– $n=12$: $\alpha = 0.7$ ($D = 1.3$).

Примітка: Прямі пунктирні лінії відповідає степенній функції $\omega(R) \propto R^{-\xi}$, $\xi = 2\alpha - 1$.

Так для $L > 10^5$ та $M > 13$ неточність ζ виявилась менше ніж 3% (рис. 4).

Чисельні результати вказують на те, що в широкому діапазоні значень зв'язок між α і $\square$ з великою степовою точністю описується лінійним співвідношенням:

$$\zeta = 2\alpha - 1 = 3 - 2D$$

Віддаленокорельовані послідовності (12) мають масштабноінваріантну структуру внаслідок самоафінності відповідних фрактальних кривих. Статистична структура таких кривих інваріантна щодо процедур "укрупнення":

$$\begin{aligned} \{111, 110, 101, 011\} &\rightarrow, \{000, 001, 010, 100\} \rightarrow 0 \\ \{11111, 11110, \dots, 11100\} &\rightarrow 1, \{ \\ 00000, 00001, \dots, 00011\} &\rightarrow 0 \end{aligned}$$

це відповідає переходу $\square t \square b \square t$, $b = 3, 5, \dots$ для фрактальних кривих.

З термодинамічної точки зору це означає однорідність термодинамічних функцій, таких як ентропія і вільна енергія. В силу цього, рівноважний розподіл (16) інваріантний по відношенню до ренормалізаційної процедури

Формалізм узагальнених термодинаміки тісно пов'язаний з теорією мультифрактального підходу [15] та ентропія Тсалліса може бути асоційована зі спектром фрактальних розмірностей D_q . З цієї точки зору, фрактальна бінарна послідовність являє собою "носій", яка визначена на множині всіх можливих n -рівнів. Слід зазначити, однак, що роль показника q відмінна від порядку моментів: це не вільний, а *характеристичний показник*. Все це узгоджується з гіпотезою Мандельброта, що виконання закону Ципфа пов'язано з ієрархічною структурою мови [16]. Незважаючи на те, що марковские послідовності можуть "імітувати" залежність Ципфа з малим $\square$, повільно змінюються разом з ростом R [17], фундаментальною відмінністю віддаленокорельованих послідовностей від послідовностей з короткими кореляціями, є їх неекстенсивний характер. Взаємодія в таких послідовностях таке, що вони являють собою структуроване єдине ціле. Це ближче до властивостей реальних текстів, таких як молекули ДНК і тексти натуральних або штучних мов (див. Рис.5).

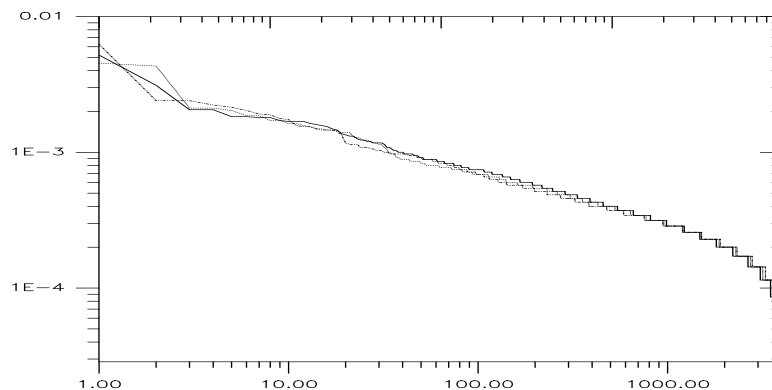


Рисунок 5—Графік Ципфа фрактальної бінарної послідовності $D = 1.3$ після двох послідовних ренормалізаційних процедур.

Висновок.

Таким чином, перспективним є застосування розширеного формалізму символічної динаміки при описі "дивної" кінетики в радіотехнічних системах де виявляються електромагнітні аномалії динамічного хаосу, пов'язаної зі складною ієрархічною фрактальною структурою кордону хаосу в фазовому просторі (так звані "кантори"). Незважаючи на експонентну локальну нестійкість руху, це призводить до степеневого загасання кореляцій $C(\tau) \propto \tau^{-p}$,

$p < 1$ та збільшення ймовірності виникнення умов виникнення деструктивних хаотичних електромагнітних руйнувань чутливих елементів приймального тракту радіотехнічної системи.

Список літератури:

1. Якубович В.А., Старжинский В.М. Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения. М.: Наука, 1972.
2. Herzel H., Schulmeister Th. Chaotic dynamic and fluctuations in a biochemical system//Dynamical

Systems and Environmental Models. Berlin: Akad.-Verl., 1987.

3. Morita M., Hata H., Mori H. et al. Local structures of chaotic attractors and q-phase transitions at attractor-merging crises in the Sine-circle map//Progr.Theor.Phys. 1988. V.80. N5. P.793-808.

4. Nicolis J.S. Chaotic dynamics applied to information processing //Rept.Progr.Phys. 1986. V.49. P.1109-1196.

5. Benettin G., Galgani L., Giorgilli A., Strelcyn J.M. Lyapunov characteristic exponents for smooth dynamical systems and for Hamiltonian systems; a method for computing all of them. P.1,2//Mechanica. 1980. V.15. N1, P9-30.

6. Grassberger P., Badii R., Politi A. Scaling laws for invariant measures on hyperbolic and nonhyperbolic attractors//J.Statist.Phys. 1988. V.51. N1., P.135

7. Fyk A.I Protecting of radio electroning apparatus from powerfull emis with the use of fractal aerial East European Scientific Journal 2, DEVICES.Redaktor naczelny Adam Barczuk – Warszawa, Polska #, 2015. – C.137–141

8. Гуков Г.Б. Распределение значений рекуррентного импульсного процесса. Радиотехника и электроника. 1987. Т.32. N.1. С.770-778.
9. Кальянов Э.В. Воздействие одиночного импульса на автогенератор при детерминированном и хаотическом режимах колебаний, Радиотехника и электроника. 1993. Т.38. N.2. С.287-291.
10. Галстян Е.А., Горностаева О.В. Дифракция электромагнитного импульса на длинной щели в экране конечной толщины. // Радиотехника и электроника. 1992. т.37. N7. С. 1189-1194.
11. А.В.Пашенко, Б.Н.Руткевич. Взаимодействие волн в тонком плазменном слое. ЖТФ, т.44, в.6, 1974, с.1151-1160.
12. Новиков А.А., Сеницын В.В., Тагер А.С. Изв.вузов.Радиофизика, 1979, т.22, N3, с.380.
13. Тагер А.М., Вальд-Перлов В.М. Лавинно-пролетные диоды и их применение в технике СВЧ. М.:Сов.радио, 1968.
14. Misawa T. Solid-State electronics, 1970, v.13, N10, p.1363.
15. Д.М.Ваврив, В.Б.Рябов, С.А.Шарапов. Взаимодействие амплитудно- и частотно-модулированных колебаний на нелинейный осциллятор. // Радиотехника и электроника. - 1993. Т.38. С.464.
16. Д.А. Грибков и др. Восстановление дифференциальных уравнений автостохастических систем по временной реализации одной динамической переменной процесса. // ЖТФ. 1994. Т. 64, в. 3, стр. 1-12.
17. Фык А.И. Математическая модель процесса хаотизации сигнала в цепочке нелинейных усилителей приемного устройства // Сборник докладов IV международной заочной конференции "Развитие науки в XXI веке" научно-информационного центра "Знание" (Харьков, 24 липня 2015). – Харьков, 2015. Ч.1. – С.32–37

METHODS OF MATHEMATICAL MANAGING THEORY IN THE FORECAST CYBER ATTACKS IN AN EXAMPLE FORECAST OF DYNAMIC PRICE SHARE AND ON A STOCK MARKET

Abstract. The purpose of this work is to create a mathematical model of price share management on the stock exchange using the non linear differential equation of the pendulum, which swings are caused by a force with a delay. Using of this method makes it possible to analyse the impact of external factors on the dynamic stock market price share, creating managing mechanisms against negative influences, as well as establishing correlative contacts between the portfolios of securities.

Keywords. Share, system, control function, stock market, delayed argument, cyber attacks.

Urgency. Searching of investments in assets developing market may be stopped by another turn of reluctance to risk among investors. The reasons can be a concern about the growing crisis in the Euro zone, a rigid fiscal adjustment of the US economy, or events those affect the development prospects of the largest developing economy in China. However, with the decline in the next “anti risk” turn again and again there is the resumption of investment flows into more profitable securities. The deviation from the existing algorithm, possibly because of influence of global structural change. Such structural transformation can be, in particular, a radical change in the policy of the central banks of developed markets in the case of renewed inflation.

If analyse causal relationships unexpected behaviour of financial systems, both developed countries and countries with economies in transition, than can be concluded that, on the one hand, the result of sharp fluctuations in financial indicators is the impossibility of accurately forecasting using classical mathematical approaches. On the other hand, the increasing inability to widespread economic and mathematical methods and models, their adequate carrying out the analysis and forecasting of economic and financial systems has become one of the main causes of such major crises on the stock markets.

At the stage of chaotic development stock market is a very sensitive system, which explains the sharp spasmodic transition defines the boundaries of their conduct behaviour, as well as reconstruction of the horizons of previous states. Sharp leap is very difficult to predict and describe with strict mathematical methods, as in contrast to the physics laws, here are the laws related to the human factor, which is very difficult today to control using mathematics.

However, the ability to respond quickly to sharp turns of the dynamic processes by building appropriate management of trade practices on the stock market is a very important task as for the securities trader than for an investor who has invested in a securities portfolio and turned out the prisoner of changes.

The main indicator of the stock market is a stock market index and its components are priced, shares and volume of its trading company involved in the index. Established the relationship between trading volume and stock price it may be adjusted market capitalization as a whole and to take certain measures in advance of

possible circumvention of crises whose signals could be caught.

In this work was proposed the construction of a mathematical model of forecast stock price, the essence of which is the phenomenon of hysteresis (delaying), which is observed on the stock markets.

Analyses of recent research and publications. The analysis of the work, in which our researches based gives an opportunity to claim that: modeling of changes on the time of amount of cybernetic attacks when considering information security tasks, essentially depends on the specifics of the object, whose cybernetic space is protected [1-7]. However, in many cases, in applied computer science to model the flow of cybernetic attacks, such as program viruses, until recently was a mathematical model that described the process of changing of intensity $x(t)$ on the basis of the Ferghult's analytical [1]:

$$x_i(t) = \frac{K_i}{1 + \frac{K_i - x_i^0}{x_i^0} e^{-r_i^m(t-t_0)}} \quad (1)$$

where K_i - level of intensity of cyber attacks, r_i^m - parameter of the steepness of the initial increase in the intensity of cybernetic attacks, t_0 - the initial moment of time, x_i^0 - the initial meaning of cybernetic attacks.

In the work [1] modeling of processing intensity of cybernetic attacks, which directed to nuclear power plants, here proposed use of equation of Hatchison, as modeling of models, which were used previously. The equation includes the time of delay τ of the number of attacks on the object, which depended and has the following view

$$\frac{dx(t)}{dt} = r_i^m \left(1 - \frac{x(t-\tau)}{K_i} \right) x(t) \quad (2)$$

If in the formula (1), the time t_0 is replaced by the time of delay τ , then models (1) and (2) can be used to access the effectiveness of system of physical protection of informational systems, which reinforce the models of the differential-game approach proposed in [2], since they take into account real conditions of

their work, taking into account delay of technological important events [1].

Main material. The phenomenon, which is based on the construction of communication stock price and trading volume are: for a period the share price gradually changed by a certain trajectory and for a further period there was some jump under the influence of a

control parameter. If more for a period continues smooth change of the control parameter, the price change slow. However, at some time the trend in the control parameter becomes the opposite: instead of the current direction change of the control parameter happen opposite. In this case, the stock price starts to reverse motion (Figure 1), and exactly the same as last price dynamics.

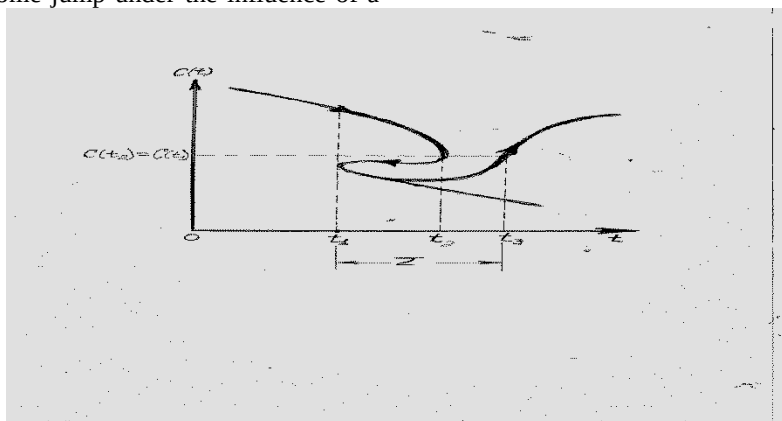


Figure 1. Hysteresis phenomenon within the limits of stock price to reverse motion.

Thus, the value of the control parameter for which there is a sharp jump in the share price, as well as what happens in principle a jump at all, depends on what was the price of the shares at the initial time and therefore, for any trajectory carried out its historical dynamics.

Based on above facts, we consider the price of the asset sold in the stock market as some variable $C(t)$, which is the solution of equation,

$$C'(t) + aC(t - 2\tau) = u_c(t - \tau), \quad (3)$$

With initial conditions

$$C(t) = \omega(t), -2\tau \leq t \leq \tau, \quad (4)$$

In the theory of fluctuation, equation (1) simulates the small fluctuation of a pendulum mass under the action of a force with a delay. Continuous on interval function enter in (4) was determined by regression analysis based on statistical observations of the stock price at a specified time interval. The value $C'(t)$ of nature is the “acceleration” of share price. Therefore, a factor included in the left-hand side of equation (3) should be inversely proportional τ^2 . Consequently,

$$a = \frac{l}{\tau^2}. \quad (5)$$

The amount τ is a fixed interval of time, which may be a day, several days, a week, a month, a quarter, a year. Coefficient l included in the equation (5) is de-

termined by the methods of identification and economic point of view characterizes the quality of “value” shares.

As we know from the mathematical theory of control, the control parameter is characterized by a reinforcement k , and the delay $C(t - \tau)$ is proportional to the force itself $u_c(t - \tau)$, which is a coefficient of proportionality k .

Therefore, the equality (3) has the form

$$u_c(t - \tau) = kC(t - \tau). \quad (6)$$

Then, the equation (3) takes the form

$$C'(t) + aC(t - 2\tau) = kC(t - \tau). \quad (7)$$

After the change $C'(t) = \varepsilon^{(1)} \cdot S(t - \tau)$, the equation (7) can be reduced to a linear system of two differential equations of the first order with constant delay, which has the following form,

$$Z'(t) = AZ(t) + BZ(t - \tau), \quad (8)$$

where $Z(t) = \begin{pmatrix} C(t) \\ S(t) \end{pmatrix}$, $A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \frac{k}{\varepsilon^{(1)}} & 0 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 0 & \varepsilon^{(1)} \\ -\frac{a}{\varepsilon^{(1)}} & 0 \end{pmatrix}$ and the initial conditions (4).

In work [8] was shown that the solution of equation (8) with a single initial conditions, for example, $Z_0(t) \equiv I, -2\tau \leq t \leq 0$ and $Z_0(t) \equiv \theta, t < -2\tau$ where in I - the identity matrix, and θ - a zero matrix may be represented as

$$Z(t) = Z_0(t)V(-\tau) + \int_{-\tau}^0 Z_0(t - \tau - s)V'(s)ds, \quad (9)$$

Where

$$Z_0(t) = I + \sum_{k=0}^{n-1} \varphi_k(t), \text{ at } (n-1)\tau < t \leq n\tau, \quad (11)$$

$$\varphi_k(t) = \frac{(t-k\tau)^{k+1}}{k!} \sum_{m=0}^{\infty} A^m \frac{(t-k\tau)^m}{(k+m+1)!} B^k (A+B), \quad (12)$$

$$V(t) = \begin{pmatrix} \omega(t) \\ \dot{\omega}(t + \tau) \end{pmatrix}, \text{ at } -2\tau \leq t \leq 0. \quad (13)$$

According to the structure of the matrix A , it follows that at $m \geq 2$, $A^m = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ therefore, the expression (11) takes the form

$$\varphi_k(t) = \frac{(t-k\tau)^{k+1}}{k!} \left(I \frac{1}{k!} + A \frac{t-k\tau}{(k+2)!} \right) B^k (A+B). \quad (13)$$

Then, the representation (10) takes the form

$$Z_0(t) = I + \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(t-k\tau)^{k+1}}{k!} \left(I \frac{1}{k!} + A \frac{t-k\tau}{(k+2)!} \right) B^k (A+B), (n-1)\tau < t \leq n\tau. \quad (14)$$

The solution (9) makes it possible to get a view of the price trajectory of a final interval length, the equation of which will depend on the parameters a, k and $\varepsilon^{(1)}$. With a view $C(t)$ we can identify $\dot{C}(t)$ and by eliminating time t construction phase of the trajectory $\dot{C}(t) = F(C(t))$ on which you can explore the pattern of price movements, which makes it possible to do prognostic implications for the formation of a portfolio of securities and the possible crisis signals.

$$\omega(t) = b_{n-1}t^{n-1} + b_{n-1}t^{n-2} + \dots + b_1t + C(0) \quad (15)$$

gives an accurate approximation of the initial trajectory of prices. This is due to the fact that by substituting in (15) $n-1$ points $(t_i; \omega(t_i))$, $i = \overline{1, n-1}$ we have a system of linear equations with unknown. Solving this system, we find $b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$. In January 2018, it took place fifteen trading. Therefore, let us divide 30 days at 15 equal parts, i.e. the length of each side equal to 2. Assume the $t = -2\tau$ date 12/01/2018

In data example, taken from [18], we show the construction of the trajectory of prices and the phase trajectories of six Ukrainian companies traded on the Ukrainian stock market in the first half of 2018.

To determine the reinforcement it is very important to have an accurate approximation of the initial function $V(t)$ at $-2\tau \leq t \leq 0$ for a pedantic analysis of phase trajectories. Therefore, if we have a range $[-2\tau; 0]$ of values of n the asset price, then the function and $t = -\tau$ the date of 14/01/2018. Then $-2\tau = -8$, this value corresponds to the date 12.01.2018 $\tau = 4$, and corresponds to the value $t = 0$ date 16.01.2018. As the price action will take the closing price on the relevant date, as this is the price it is the most informative, t . To. In this price includes all exchange information at the end of the day. Initial data are given in table 1.

Table 1.

Data for the function $\omega(t)$.

Moment of time $t_i = t_{i-1} + 4$	Issuer	Last price UAH
$t_2 = -8$ ($t = -2\tau$) (12.01.2018)	Motor Sich	2554,00
$t_3 = -6$	Motor Sich	2587,00
$t_4 = -4$ ($t = -\tau$)	Motor Sich	2585,00
$t_5 = -2$	Motor Sich	2560,00
$t_6 = 0$ (16.01.2018)	Motor Sich	2549,00
$t_7 = 2$	Motor Sich	2535,00
$t_8 = 4$ ($t = \tau$)	Motor Sich	2555,00
$t_9 = 6$	Motor Sich	2554,00
$t_{10} = 8$ ($t = 2\tau$)	Motor Sich	2546,00
$t_{11} = 10$	Motor Sich	2574,00
$t_{12} = 12$ ($t = 3\tau$)	Motor Sich	2541,00
$t_{13} = 14$	Motor Sich	2545,00
$t_{14} = 16$ ($t = 4\tau$)	Motor Sich	2535,00
$t_{15} = 18$	Motor Sich	2520,00
$t_{16} = 20$ ($t = 5\tau$)	Motor Sich	2525,00

Using the data of Schedule 1, for the company Motor Sich find that, in some time, was realized ensure that $[-8; 0]$ observed values of five prices. Obviously,

$$\omega_1(t) = b_4t^4 + b_3t^3 + b_2t^2 + b_1t + 2549, \text{ when } -2\tau \leq t \leq 0.$$

In our case

$$\omega_1(t) = 0.0651042t^4 + 1.55208t^3 + 9.23958t^2 + 7.29167t + 2549, \text{ when } -8 \leq t \leq 0. \quad (14)$$

we have a case where the stock price changes and volume of its trading. Consequently, the dependence of these five values of the time, can be represented as

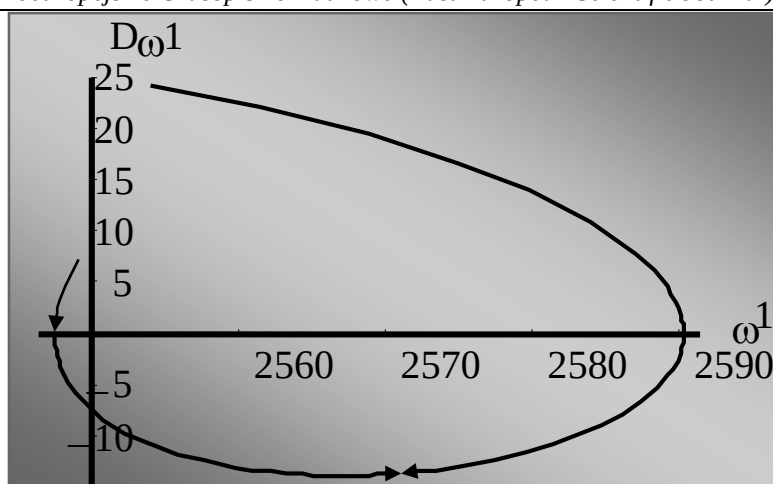


Figure 2. The dependence of the share price of company Motor Sich from its speed changes in the period from 12.01.2015 to 01.16.2015. ($D\omega_1 = \omega(t)$, $\omega_1 = \omega_1(t)$).

Figure 2 shows that the increase in prices from 2580 UAH to 2590 UAH was with inhibited, and a decrease in the share price up to 2570 UAH happening with acceleration.

On the other hand, analyzing the dependences presented in figures 2 we can conclude that for the period from 12.01.2015 to 16.01.2015 there is a tendency to cyclical phase curves. This indicates a stable position of the issuer in the market. Fluctuations in the share price of the company Motor Sich and volume of trades carried out almost simultaneously, for example it are not observed differences in the dynamics of prices and

trading volume. Therefore, a sharp decrease in the volume of trading of the issuer will lead to a sharp drop in stock prices, and gradual increase stock prices may lead to the peak sales volume. From the above it can be concluded that the first week of trading in 2015 gives the prerequisites for further observation of the dynamics of the company's shares Motor Sich for possible formation of a portfolio.

We now define the dynamics of prices for the period $0 < t \leq 4$, which corresponds to the period from 19/01/2015 to 23/01/2015, with the help of the representation (7). In our case

$$\text{according to (12), } n = 1 \text{ and } Z_0(t) = \begin{pmatrix} 1 & t\varepsilon^{(1)} \\ \frac{k-a}{\varepsilon^{(1)}} & 0.5kt^2 + 1 \end{pmatrix}, \quad V(-\tau) = V(-4), \quad V(-4) = \begin{pmatrix} 2585 \\ 7.29 \end{pmatrix} \text{ and}$$

$$Z_0(t)V(-4) = \begin{pmatrix} 7.29t\varepsilon^{(1)} + 2585 \\ 3.65kt^2 + 2585\frac{k-a}{\varepsilon^{(1)}}t + 7.29 \end{pmatrix}.$$

$$\text{Further, } V'(t) = \begin{pmatrix} 0.26t^3 + 4.66t^2 + 18.48t + 7.29 \\ 0.78(t+4)^2 + 9.31(t+4) + 78.48 \end{pmatrix},$$

$$Z_0(t-4-s) = \begin{pmatrix} 1 & (t-4-s)\varepsilon^{(1)} \\ \frac{k-a}{\varepsilon^{(1)}}(t-4-s) & 1 + 0.5k(t-4-s)^2 \end{pmatrix}, \text{ and}$$

$$\int_{-4}^0 Z_0(t-4-s)V'(s)ds = \begin{pmatrix} 405.04t\varepsilon^{(1)} - 876.37\varepsilon^{(1)} - 35.91 \\ \left(\frac{35.91}{\varepsilon^{(1)}}(a-k) + 405.04\varepsilon^{(1)}\right)t + \frac{52.7}{\varepsilon^{(1)}}(k-a) - 876.4 \end{pmatrix}.$$

Finally, we obtain

$$C(t) = 412.33t\varepsilon^{(1)} - 876.37\varepsilon^{(1)} + 2849.1, \text{ at } 0 < t \leq 4. \quad (15)$$

The parameter $\varepsilon^{(1)}$ is a random variable, and to build its distribution law of probabilities it is necessary to find its value. These values are using the data stock

price, taken on site exchange [28]. Using the representation (15) and the data [28], we find $\varepsilon^{(1)}$. The results are shown in Schedule 2.

Table 2.

Determination of $\varepsilon^{(1)}$ the time interval $0 < t \leq 4$ per 1 day.

Data	Time t_i	$C(t_i) = 412.33t_i\varepsilon_i^{(1)} - 876.37\varepsilon_i^{(1)} + 2849.1$	$\varepsilon_i^{(1)}$
19/01/18	$t_1 = 1$	2535	0.68
20/01/18	$t_2 = 2$	2555	5.69
21/01/18	$t_3 = 3$	2554	-0.82
22/01/18	$t_4 = 4$	2546	-0.39

Whith four parameter values of $\varepsilon_i^{(1)}$ to present it as a functional of time in the form of

$$\varepsilon^{(1)}(t) = c_3t^3 + c_2t^2 + c_1t + c_0, \text{ at } 0 < t \leq 4.$$

Solving the corresponding system of four linear equations with four unknowns, we obtain

$$\varepsilon^{(1)}(t) = 3.08t^3 - 24.22t^2 + 56.13t - 34.31, \text{ at } 0 < t \leq 4, \quad (16)$$

then

$$C(t) = 1268.6t^4 - 12682.9t^3 + 44371.1t^2 - 63340.6t + 32917.4, 0 < t \leq 4. \quad (17)$$

The following Schedule 3 shows the data obtained from the exchange quotations and calculated on the proposal (17).

Table 3.

A comparison of the share price of the company Motor Sich.

Date	data exchange	Data quotation result of the formula (16)
19/01/2018	2535	2534
20/01/2018	2555	2555
21/01/2018	2554	2554
22/01/2018	2546	2549

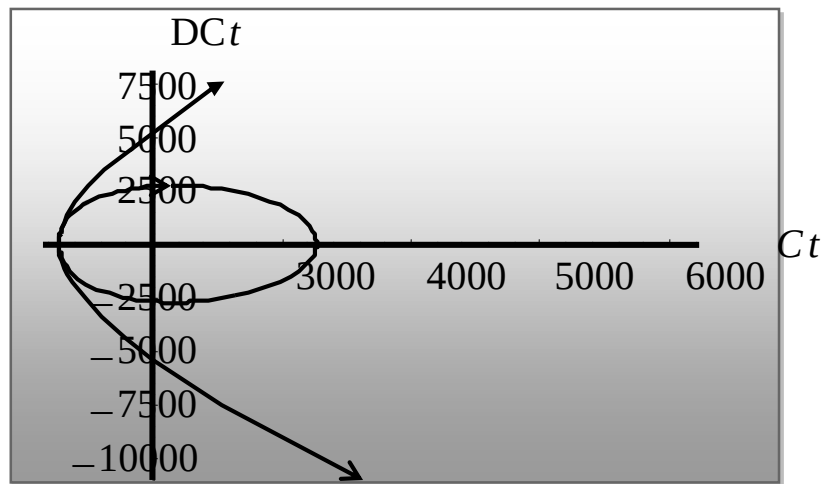


Figure 3. The phase trajectory of Motor Sich stock price with interval $0 < t \leq 4$. ($DCt = \dot{C}(t)$, $Ct = C(t)$).

Figure 3 indicates that position of the share price of company Motor Sich more stable than with interval $-4 \leq t \leq 0$. This demonstrates the initial conditions $\omega(t)$ do not change. If the phase trajectory of Motor

Sich stock price with interval $0 < t \leq 4$ showed unstable process than we must take new initial conditions. In our case this new conditions would representing (15).

According to (10) and (16) except for (16) we obtained

$$\begin{aligned} \hat{C}(t+4) = (2549.09t + 52.7) \frac{k-a}{3.08t^3 - 24.22t^2 + 56.13t - 34.31} + 1247.5232t^4 - 9810.0688t^3 + \\ (3.65k + 22734.8952)t^2 - 13896.9224t - 869.11, \\ \text{at } 0 < t \leq 4. \end{aligned} \quad (18)$$

According (12) at $4 < t \leq 8$ we are have

$$Z_0(t) = I + t \left(I + \frac{1}{2}tA \right) (A + B) + \frac{(t-4)^2}{2} \left(\frac{1}{2}I + A \frac{t-8}{6} \right) B(A + B), \quad (19)$$

where $A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ k & 0 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 0 & \varepsilon^{(2)} \\ -\frac{a}{\varepsilon^{(2)}} & 0 \end{pmatrix}$. After congruent transformation (19) has the form

$$Z_0(t) = \begin{pmatrix} 1 + \frac{1}{4}(k-a)(t-4)^2 & t\varepsilon^{(2)} \\ (12t + k(t-8)(t-4)^2) \frac{k-a}{12\varepsilon^{(2)}} & \frac{2kt^2 - a(t-4)^2 + 4}{4} \end{pmatrix}. \quad (20)$$

Using initial conditions (14) and similarly will obtain $C(t)$ at $4 < t \leq 8$.

$$V(-4) = \begin{pmatrix} 2585 \\ 7.29 \end{pmatrix} \text{ and } Z_0(t)V(-4) = \begin{pmatrix} 2585 + 646.25(k-a)(t-4)^2 + 7.29t\varepsilon^{(2)} \\ 2585(12t + k(t-8)(t-4)^2) \frac{k-a}{12\varepsilon^{(2)}} + 1.8225(2kt^2 - a(t-4)^2 + 4) \end{pmatrix},$$

$$V'(t) = \begin{pmatrix} 0.26t^3 + 4.66t^2 + 18.48t + 7.29 \\ 0.78(t+4)^2 + 9.31(t+4) + 78.48 \end{pmatrix},$$

$$Z_0(t-4-s) = \begin{pmatrix} 1 + \frac{1}{4}(k-a)(t-8-s)^2 & (t-4-s)\varepsilon^{(2)} \\ (12t - 12 - 12s + k(t-12-s)(t-8-s)^2) \frac{k-a}{12\varepsilon^{(2)}} & \frac{2k(t-4-s)^2 - a(t-8-s)^2}{4} \end{pmatrix},$$

$$\int_{-4}^8 Z_0(t-4-s)V'$$

$$(s)ds = \left(\begin{array}{c} 0.26qt^5 - 2.62qt^4 + f_1t^3 + f_2t^2 + f_3t + 29.16 + 1438.56q - 5128\varepsilon^{(2)} \\ f_4t^4 + f_3t^3 + f_2t^2 + f_1t + f_0 - \frac{1}{\varepsilon^{(2)}}(139.45(a - \frac{11}{10}k)(t - 12.2022)(t^2 - 33.6255t + 301.179)) \end{array} \right),$$

where $q = k - a$, $f_1 = 1.04 - 60.6933q + 3.12\varepsilon^{(2)}$, $f_2 = 18.64 + 409.423q + 31\varepsilon^{(2)}$, $f_3 = 73.92 + 3442.6q - 109.2\varepsilon^{(2)}$

Finally, we obtain

$$C(t) = 9.36\varepsilon^{(2)}t^3 + (27.48\varepsilon^{(2)} + 1064.6q)t^2 + (728.61\varepsilon^{(2)} - 11665.8q - 5170)t + 92328.9q - 3441.75\varepsilon^{(2)}, \text{ at } 4 < t \leq 8. \quad (21)$$

From (18) and (21) follow that $\dot{C}(t+4)$ at $0 < t \leq 4$ equal $\dot{C}(t)$ at $4 < t \leq 8$. According (21)

$$C(t) = 28.08\varepsilon^{(2)}t^2 + (54.96\varepsilon^{(2)} + 2129.2q)t + 728.61\varepsilon^{(2)} - 11665.8q - 5170. \quad (22)$$

Equating (18) to (22) receiving

$$(2549.09t + 52.7) \frac{q}{3.08t^3 - 24.22t^2 + 56.13t - 34.31} + 1247.5232t^4 - 9810.0688t^3 + (3.65k + 22734.8952)t^2 -$$

$13896.9224t - 869.11 = 28.08\varepsilon^{(2)}t^2 + (54.96\varepsilon^{(2)} + 2129.2q)t + 728.61\varepsilon^{(2)} - 11665.8q - 5170$. After appropriating processing

$$\varepsilon^{(2)}(t) = \left(\frac{q(2549.09t + 52.7)}{3.08t^3 - 24.22t^2 + 56.13t - 34.31} + 1247.5232t^4 - 9810.0688t^3 + (3.65k + 22734.8952)t^2 - \right.$$

$$\left. 13896.9224t - 869.11 - 2129.2qt + 11665.8q + 5170 \right) : (28.08t^2 + 54.96t + 728.61). \quad (23)$$

DATE	t_i	$\varepsilon^{(2)}(t)$
23/01/2018	5	$-0.89a + 0.944k + 33.21$
26/01/2018	6	$0.46a - 0.396k + 114.63$
27/01/2018	7	$1.27a - 1.198k + 261.72$
28/01/2018	8	$1.8a - 1.721k + 484$

Summary. Here proposed means of solving task of choosing adequate model of functional dependence of the intensity of cybernetic attacks on informative – communicative systems of informative security of Stock market. Recommended in usage functional dependences, firstly adapted to conditions of trading and calculations on electronic platforms of stock market. Takes into account means of protection from threats, which conduct with time of delay. Defined new ways of improving existed mathematical models for their practical application as way of protecting information security of stock market.

Scientific value is in possibility to build functional dependences of the intensity of cybernetic attacks, reinforced on electronic trading platforms of stock market taking into account delay, which vice versa influence disturbance of stability fluctuation of the intensity of attacks.

Reference

1. Pogosov O.Yu. Modeli prikladnoy informaticy uchota kintiki kiberneticheskikh ugroz v sistemi fizicheskoy zashity AES / Pogosov O.Yu., Derevianko O.V. // Radio Electronics, computer science, Control. – 2017.- №2. – p. 53-60.
2. Grishuk R. Differential-game method for evaluating the effectiveness of information security systems / R.Grishuk // Modern information security , - №1,2012. – p. 40-44.
3. Grishuk R. Use of differential games to optimize control in information security systems /Grishuk R., Horoshko V., Hohlachova U. // Modern information security №2,2012.- p. 21-26.
4. Horoshko V. An algorithm for detecting attacks for information monitoring tools / V. Horoshko, O. Chernishev // Modern information security. - №1, 2012. – p. 49-56.

5. Grishuk R.V. Resolving the problem of providing information security of state in social networking services / R.V. Grishuk, K.V. Molodets'ka – Hrynychuk // Modern information security – 2018.- №1(33) – p. 43-53.

6. Grishuk R.V. Fundamental cyber security: monographs / R.V. Grishuk, U.G. Danik; pid zag. red. prof. U.G. Danika.- Gitomir: GVI im. S.P.Korolova, 2016.- 636 p.

7. Borsukovskii Y., Applied aspects of protection of information in modern conditions / Borsukovskii Y., Borsukovska V. // Modern information security – 2018.- №2 – p. 6-11.

8. D. YA. KHUSAINOV and G.V.SHUKLIN. LINEAR AUTONOMOUS TIME-DELAY SYSTEM WITH PERMUTATION MATRICES SOLVING// Studies of the University of Zilina. Mathematical Series. Vol.17 (2003), 101-108.

9. D.Ya. Khusainov, A.F. Ivanov, and G.V. Shuklin. On a Representation of Solutions of Linear Delay Systems.//Differential Equations, Vol.41,No.7,2005,pp.1054-1058.

10. DARRELL DUFFIE. Presidential Address: Asset Price Dynamics with Slow-Moving Capital.//The Journal of Finance. Vol. LXV, No.4. August 2010.

11. Gary Gang Tian and Shiguang Ma. The relationship between stock returns and the foreign exchange rate: the ARDL approach.// Journal of the Asia Pacific Economy, Vol.15, No.4, November 2010, 490-508.

12. Georg J. Jiang and Yisong S. Tian. Forecasting Volatility Using Long Memory and Comovements: An Application to Option Valuation under SFAS 123 R.//Journal of financial and Quantitative Analysis. Vol.45, No.2, Apr.2010, pp. 503-533.

13. XIAOJUNZHAO, PENGJIAN SHANG and YULEI PANG. Power Law and Stretched exponential

effects of extreme events in Chinese stock-markets. // *Fluctuation and Noise Letters*. Vol.9, (2010), 203-217.

14. GERMAN BERNHART, STEPHAN HOCHT, MICHAEL NEUGEBAUER, MICHAEL NEUMANN and RUDI ZAGST. Asset correlations in turbulent markets and the impact of different regimes on asset management. // *Asia-Pacific Journal of Operational research*. Vol.28, No.1 (2011) 1-23.

15. Joseph L. McCauley. EQUILIBRIUM VERSUS MARKET EFFICIENCY. *Randomness versus Complexity in Finance Markets*. // *Journal of Economic Surveys* (2011). Vol. 25, No. 3, pp. 600-607.

16. S.E. NICOLIS and D.J.T. SUMPTER. A DYNAMICAL APPROACH TO STOCK MARKET FLUCTUATIONS. // *International Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol.21, No.12 (2011), 3557-3564.

17. Takafumi Ichinose, Shigeki Hirobayashi, Tadanobu Misawa and Toshio Yoshizawa. Forecast of stock market based on nonharmonic analysis used on NASDAQ since 1985. // *Applied Financial Economics*, 2012, 22, 197-208.

18. <http://investfunds.ua/markets/stocks/>.

19. DY Husainov Relative handling systems with pure delay DY. // Husainov, GV Shuklin. *Applied Mechanics*, Volume 41, number 2, 2005, p. 118-130.

20. Husainov DY Managing system with clear delay DY Husainov, GV Shuklin. *News Kiïvskogo Universitetu*, Key infrastructure №1, 2002r. Pp 267-276.

21. G.V. Shuklin About one task stabilizatsii pendulum s zapiznennyam. // GV Shuklin. *Kiev*

University News, Key infrastructure №4, 2002r, s.275-283.

22. G.V. Shuklin Modeling investment decision in the stock market analysis. // GV Shuklin. *Model of information system in the economics*. Science Digest. Key infrastructure 79, p 2009, s.62-69.

23. G.V. Shuklin. Randomness of dynamics of assets on Stock market in the minds of undetermining. // G.V. Shuklin. *of information system in the economics*. Science Digest. Key infrastructure 80, 2009 p s.216-225.

24. Cheng P., Quek C. and Mah M.I. «Predicting the impact of anticipatory action on US stock market – an event study using ANFIS (a neural fuzzy model)». // *Computational Intelligence*, 23(2), 2007, p. 117-141.

25. Jorgen Vitting Andersen, Andrzej Nowak, Cuilia Rotundo, Lael Parrot, Sebastian Martinez. «Price-Quakes» Shaking the World's Stock Exchanges. // Jorgen Vitting Andersen. *www. Plosone.org*, November, 2011, Volume 6, p. 1-8.

26. Yeh C.H. and Deng H., «A practical approach to fuzzy utilities comparison in fuzzy multi-criteria analysis». // *International Journal of Approximate Reasoning*. 35(2), 2004, p.179-194.

27. Takafumi Ichinose, Shigeki Hirobayashi, Tadanobu Misawa and Toshio Yoshizawa. Forecast of stock market based on nonharmonic analysis used on NASDAQ since 1985. // Takafumi Ichinose. *Applied Financial Economics*, 2012, № 22, p. 197-208.

#9 (37), 2018 część 1
Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Warszawa, Polska)
Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

#9 (37), 2018 part 1
East European Scientific Journal
(Warsaw, Poland)
The journal is registered and published in Poland. The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska»

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland»

East European Scientific Journal

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com>