

**ДВОСТУПЕНЕВИЙ МЕТОД ОБРОБКИ
РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ВИСОКОЧУТЛИВОЇ
РАДІОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ¹**

*Перегудов С. М., к.т.н., доцент; Яненко О. П., д.т.н., професор;
Доліч Д. О., студент радіотехнічного факультету
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна,
pereg@i.ua*

**TWO-STEP METHOD OF THE MEASUREMENT DATA PROCESSING OF
THE HIGH-SENSITIVITY RADIOMETRIC SYSTEM**

*Peregudov S. N., PhD, Associate Professor
Yanenko O. Ph., Doctor of Engineering, Professor;
Dolich D.O., student of Radioengineering faculty
National Technical University of Ukraine «Kyiv politechnical institute», Kyiv, Ukraine,
pereg@i.ua*

Вступ

Останніми роками в різноманітних областях науки і техніки все більш застосовуються радіометричні методи, які використовують для дослідження випромінювальних властивостей нагрітих тіл. Вони дозволяють отримувати інформацію про стан об'єкту досліджень шляхом аналізу власного теплового випромінювання (пасивні методи) або відбитого зондувального сигналу (активні методи) в мікрохвильовому діапазоні довжин хвиль. Уперше такий спосіб був використаний Дайком для реєстрації випромінювання астрономічних об'єктів за допомогою спеціального приймача – модуляційного радіометра [1]. З часом радіометрична апаратура була суттєво вдосконалена і зараз широко застосовується як в астрономії [2], так і в інших областях науки і техніки, зокрема, для радіотеплового зондування земної поверхні, для радіобачення в системах радіолокації та навігації (див., наприклад, [3-5]). Згодом радіометричні методи почали використовувати також і в біомедичній галузі. Спочатку для дистанційного вимірювання температури різноманітних зон об'єктів, потім для аналізу їх стану. Г. Фрьоліхом було обґрунтовано, що довжина хвиль власного випромінювання клітин живих організмів має порядок міліметрів [6], тому в біомедичних дослідженнях саме міліметровому (мм-) діапазону надається особлива увага [7, 8]. Власне випромінювання подібних об'єктів має шумоподібний характер, а спектральна щільність потужності сигналів, які реєстру-

¹ <http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1228>

ються, складає 10^{-22} - 10^{-19} Вт/Гц·см², що порівняно з рівнем електромагнітного фону навколишнього середовища, а також рівнем власних шумів вхідного тракту приймача [9].

Особливістю роботи високочутливих радіометричних систем (РС) є наявність низькочастотних флуктуацій вихідного сигналу, що суттєво ускладнює дослідження та збільшує похибку вимірювань. І якщо в областях, пов'язаних з астрономічними спостереженнями, зондуванням земної та водної поверхні, системами радіобачення дане питання успішно вирішується шляхом вдосконалення апаратури [10], то в біомедичній області підвищення точності радіометричних вимірювань і, відповідно, достовірності досліджень є актуальною задачею. По-перше, це пов'язано з особливостями мм-діапазону. По-друге, із впливом електромагнітного випромінювання будь-якого діапазону і будь-якої інтенсивності на стан об'єкту досліджень [7-9], тому часто, доцільно використовувати, пасивні радіометричні методи. І, по-третє, на відміну від вище зазначених дистанційних радіометричних методів, біооб'єкт у процесі досліджень розташований у ближній зоні антени, що впливає на характеристики приймача. Частково дана проблема вирішується за допомогою встановлення у вхідному тракті приймальної апаратури додаткових вентилів для забезпечення електромагнітної розв'язки, а для збільшення динамічного діапазону – прецизійного атенюатора [9].

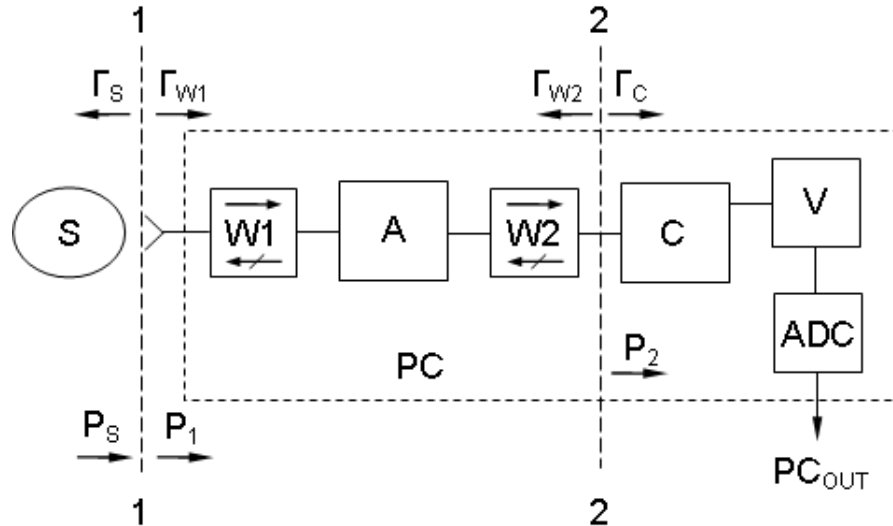


Рис. 1. Структурна схема вимірювання радіометричних сигналів:

S – джерело випромінювання; РС – високочутлива радіометрична система (вхідний тракт РС: $W1$, $W2$ – феритові вентиля, A – вхідний атенюатор); C – перетворювач надвисокочастотних сигналів у постійну напругу; V – вольтметр постійної напруги; ADC – аналого-цифровий перетворювач; 1-1 – площина апертури приймальної антени РС; 2-2 – площина вихідного фланця вентиля $W2$

Типову структурну схему подібних досліджень можна представити так, як показано на рис. 1. Електромагнітне випромінювання об'єкту досліджень S з коефіцієнтом відбиття Γ_s приймається антеною радіометра і пос-

тупає на вхід феритового вентиля $W1$ (коефіцієнт відбиття Γ_{W1}), проходить через вхідний тракт, і з виходу іншого вентиля $W1$ (коефіцієнт відбиття Γ_{W2}), поступає на вхід блоку перетворення C , який у свою чергу має коефіцієнт відбиття Γ_C у площині вхідного фланцю 2-2. У результаті низки перетворень на виході блоку C отримується низькочастотна напруга, постійна складова якої пропорційна потужності випромінювання джерела у смузі робочих частот радіометричної системи (РС).

Через наявність неузгодження елементів вхідного тракту приймача потужність P_2 сигналу на вході блоку C можна представити як

$$P_2 = \frac{A(1 - |\Gamma_C|^2)A_W^2}{(1 - |\Gamma_W|^2)|1 - \Gamma_C\Gamma_W|^2} P_1, \quad (1)$$

де A – показання атенюатора, $\Gamma_{W1} = \Gamma_{W2} = \Gamma_W$, а P_1 – потужність сигналу на виході антени радіометра; A_W – втрати кожного з вентилів.

Вихідна напруга U_{PC} модуляційної РС при цьому може бути представлена як [9]:

$$U_{PC} = \alpha_{PC} \frac{2}{\pi} \left\{ \frac{\Delta U^2}{\pi} + 2U_W^2(t) \sum_{i=1}^n [(\Omega - \Omega_i)t + \varphi_i] \right\}, \quad (2)$$

де α_{PC} – сумарний коефіцієнт перетворення каналу РС, ΔU^2 – квадрат різниці напруг за період комутації, який є пропорційним потужності вхідного сигналу P_2 ; Ω – частота комутації, а Ω_i – складові низькочастотного шуму;

$2U_W^2(t) \sum_{i=1}^n [(\Omega - \Omega_i)t + \varphi_i]$ – сумарна потужність складових власного теплового шуму радіометричного каналу від вхідної антени до виходу РС.

Перша складова рівняння (2) представляє собою постійну напругу, пропорційну потужності вхідного сигналу P_2 , а друга складова – змінну напругу шуму, що пройшла через фільтрувальні пристрої каналу перетворення РС. Паразитні шумові складові, які присутні в (2) визивають низькочастотну флуктуацію показника індикатора V та погіршують чутливість і точність РС.

Крім того, неузгодження елементів вхідного тракту, як видно з формули (1) впливає на величину P_2 . Оскільки коефіцієнти відбиття характеризуються не тільки модулем, а й фазою, яку важко контролювати (особливо у мм-діапазоні), то такий вплив може привести до низької відтворюваності результатів вимірювань.

Отже, підвищення чутливості та точності є важливим питанням фактично для будь-якого застосування РС і досягається декількома шляхами. По-перше, зменшення рівня теплових флуктуацій можна досягти за рахунок оптимальних конструкторських та технологічних рішень (екранування, використання малошумливих елементів і вузлів тощо), а по-друге за рахунок збільшення кількості відліків i , відповідно, часу вимірювання, що зви-

чайно, знижує швидкість РС.

Оскільки сфера застосування радіометричних методів дедалі збільшується, постає питання автоматизації обробки результатів вимірювань. Одним з найпростіших методів підвищення точності радіометричних вимірювань є використання багатократних спостережень. При цьому необхідно використовувати цифрову обробку сигналів та математичні методи, які характерні для певної області досліджень.

Таким чином, задача розробки спеціальних програмно-апаратних засобів забезпечення автоматизації радіометричних вимірювань є актуальною і сприяє покращенню метрологічних характеристик високочутливих РС.

Постановка задачі

Слід зазначити, що необхідність аналого-цифрового перетворення виставляє певні вимоги до проведення радіометричних досліджень, а саме виключення впливу перетворювача та інших засобів автоматизованої обробки сигналів на досліджуваний об'єкт. Тому бажано, по-перше, екранувати об'єкт, а по-друге, передавати вихідний сигнал радіометра на певну відстань. Основну інформацію несе постійна складова даного сигналу. Важливим параметром при цьому є її динамічний діапазон. Як показують нескладні розрахунки для типової РС достатньо 12-14-розрядного АЦП, і відповідно швидкості передачі інформації приблизно 12-14 біт/с. Проте, враховуючи необхідність зменшення випадкової складової похибки вимірювання за рахунок багатократних спостережень, вона може зрости у десятки-сотні разів. Крім того, ця величина може досягти 1-10 Мбіт/с, якщо здійснюються панорамні вимірювання, коли потрібно одночасно представити результати в діапазоні частот, або застосовується кореляційний аналіз.

Таким чином, використання традиційного підходу, що полягає у попередньому аналого-цифровому перетворенні вихідного сигналу радіометричної системи і передачі цифрового сигналу до системи обробки даних, хоча й вирішує проблему завадостійкості, проте потребує забезпечення надійного екранування об'єкту досліджень та якісного (без втрат або спотворень) каналу передачі даних. Крім того, максимальна частота перетворення також буде зростати, що приводить до ускладнення апаратури та зростання її вартості.

Метою даної роботи є розробка методу та засобу для автоматизованої обробки результатів радіометричних вимірювань, яка дозволяє забезпечити збільшення точності радіометричних вимірювань і розширення області застосування радіометричних систем.

Практична реалізація методу

На рис. 2 приведена осцилограма вихідної напруги РС.

Її вид підтверджує те, що окрім постійної складової, що несе інформацію про рівень власного випромінювання об'єкту досліджень, у спектрі

вихідного сигналу присутні низькочастотні флуктуації.

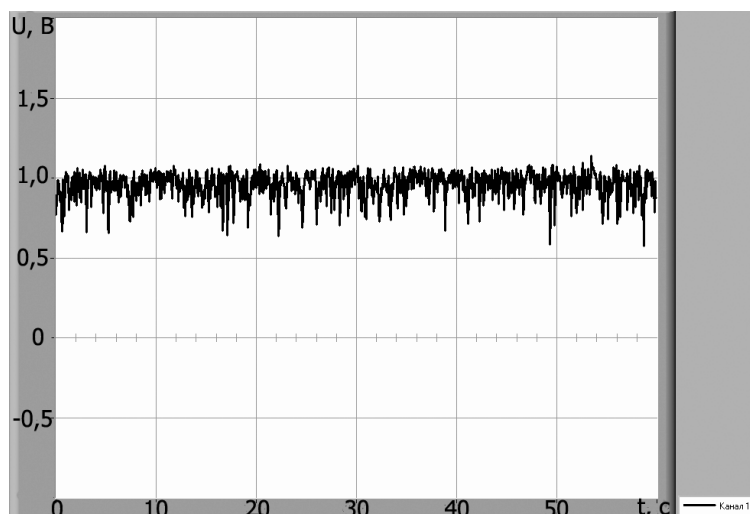


Рис. 2. Осцилограма вихідного сигналу радіометра

Якщо не здійснювати аналого-цифрове перетворення безпосередньо на виході РС (до лінії передачі даних вимірювань), то для уникнення втрати інформації потрібно передати всі спектральні складові вихідного сигналу.

У відповідності з формулою Шеннона максимальна швидкість передачі даних

$$C_A = \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right), \quad (3)$$

де Δf – ширина спектра вихідного сигналу радіометричної РС, P_S – його потужність, а P_N – сумарна потужність усіх завад в лінії передачі.

Враховуючи те, що у випадку радіометричних досліджень $P_S \approx P_N$, можна вважати, що величина C чисельно дорівнює Δf .

Якщо на виході радіометричної системи здійснюється аналого-цифрове перетворення (рис. 1), то швидкість передачі даних визначається як

$$C_D = 2\Delta f \log_2 n, \quad (4)$$

де Δf – ширина спектра вихідного сигналу радіометричної, $n = 2^k$ – число варіантів цифрового сигналу, а k – розрядність АЦП.

Формули (3) і (4) показують, що прискорити передачу даних можна, збільшуючи смугу робочих частот, і для аналогового сигналу вона має бути більшою, ніж для цифрового. Проте в останньому разі необхідно забезпечити належне екранування об'єкту досліджень. В той же час, зростання смуги робочих частот приводить до підвищення рівня завад і наведень, і відповідно знижує швидкість передачі даних. Тому необхідно використовувати канали передачі даних на основі витих пар (UTP, бажано STP) більш високих категорій або коаксіального кабелю, у яких забезпечується додаткова фільтрація сигналів. Усе це спричиняє збільшення вартості апаратури та ускладнює її застосування.

Авторами запропоновано двоступеневий метод обробки вихідних сигналів радіометричних систем. Він полягає у застосуванні інтегрування вихідної напруги, що має високий рівень флуктуацій, безпосередньо на виході радіометра, передачу обробленого таким чином сигналу через лінію пе-

редачі та остаточну обробку стандартними програмно-апаратними засобами. Такий підхід дозволяє знизити вимоги як до екранування об'єкту досліджень (через спрощення пристрою перетворення), так і до лінії передачі даних (через зменшення смуги частот сигналів, і відповідно рівня завад та наведень у лінії). В процесі досліджень проведено вдосконалення діючої радіометричної системи міліметрового діапазону хвиль з порогом чутливості 10^{-23} Вт/Гц·см².

Однак за такої чутливості значний вплив на результат вимірювання мають шуми радіометричної системи, що призводять до значних флуктуацій та виникнення похибок вимірювання. Зниження рівня флуктуацій дозволяє підвищити чутливість і точність вимірювання. Зазвичай таке зниження досягається шляхом використання модуляційного радіометра з аналоговим інтегратором на його виході. Недоліком такого інтегратора є постійність часу інтегрування та неможливість оперативної зміни цього параметру у випадку досліджень різноманітних фізичних і біологічних об'єктів [9].

В процесі роботи розроблено цифровий інтегратор на базі АЦП, який підключається до РС. Структурна схема пристрою наведена на рис. 3.



Рис. 3. Структурна схема інтегратора

Він дозволяє усунути вказані недоліки та передавати результати радіометричних вимірювань безпосередньо на персональний комп'ютер. Зважаючи на те, що інтегратор призначений для існуючої високочутливої радіометричної системи, яка застосовується для вимірювання інтенсивності власного випромінювання фізичних і біологічних об'єктів, задача інтегрування сигналів вирішувалась саме з прив'язкою до цієї характеристики.

Пристрій виконано на основі мікроконтролера Atmega8A, можливості якого дозволили вирішити основну задачу розробки. Перевагою вказаного пристрою є вбудований АЦП.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє вибрати один з трьох режимів виміру напруги, які характеризуються часом інтегрування: 5, 10, 20 с, причому виміри проводяться п'ять разів на секунду. Такі проміжки часу було обрано експериментальним шляхом, як найбільш оптимальні для вимірювання інтенсивності власного випромінювання об'єктів. Можливо, інші види радіометричних досліджень потребують додаткового уточнення

часу інтегрування, проте розроблене програмне забезпечення дозволяє проводити також зміну режимів налаштування.

За результатами досліджень спостерігалась чітка залежність точності апроксимації від часу вимірів. Експериментальна перевірка макета цифрового інтегратора показала, що зі збільшенням розкиду результатів спостережень вихідної напруги РС зростає також і похибка вимірювань. Визначено, що для більшості радіометричних досліджень доцільно встановлювати час інтегрування 5, 10 або 20 с. Так часу інтегрування 5 с відповідає відносно великий розкид (флуктуації) і значна похибка вимірювання; часу 10 с – менший розкид, і для часу вимірювання 20 с – найменший розкид. У цьому режимі можна отримати найбільшу стабільність та точність вимірювання сигналів низької інтенсивності.

Застосування попереднього інтегрування надає можливість ослабити вимоги до лінії передачі даних та пристроїв подальшої цифрової обробки сигналів, оскільки дозволяє зменшити смугу робочих частот такої лінії. Проте варто пам'ятати, що при цьому сповільнюється процес обробки сигналів. Дану особливість слід враховувати під час побудови складних систем для радіометричних досліджень (панорамні пристрої, корелометри тощо).

Особливістю представленого інтегратора є можливість забезпечення зв'язку з персональним комп'ютером (ПК), наприклад, через універсальну послідовну шину USB, і використання стандартного програмного забезпечення для подальшої обробки результатів радіометричних вимірювань.

В результаті проведеного аналізу було вирішено розробляти програмну частину вихідного інтерфейсу автоматизованої радіометричної системи в середовищі LabVIEW (ф. National Instruments, США), яке має досить великий набір засобів як для математичної обробки інформації, так і для візуалізації даних. Це дозволяє адекватно оцінювати результати радіометричних досліджень та вибирати метод їх аналізу. Авторами запропонована також конструкція блоку для остаточної цифрової обробки сигналів, який містить канал передачі даних у вигляді струмової петлі, пристрою збору даних з АЦП, USB інтерфейс підключення до комп'ютера та власне програмну частину для обробки результатів вимірювань.

З виходу інтегратора сигнал через лінію передачі даних поступає до пристрою збору даних (ЗД) з АЦП і далі через USB інтерфейс – до ПК. Подальша обробка сигналів здійснюється за допомогою розробленого у середовищі LabVIEW програмного забезпечення. Структурна схема розробленого блоку показана на рис. 4. Оскільки існує різноманіття пристроїв ЗД і кожний з них має свої особливості формування масиву даних, було вирішено представляти їх у вигляді текстового файлу. Це дозволяє у подальшому використовувати розроблене програмне забезпечення з іншими пристроями ЗД.



Рис. 4. Структурна схема програмного блоку для кінцевої обробки вихідних сигналів радіометричної системи

Після формування текстового файлу його зчитують за допомогою спеціальної функції, реалізованої на мові програмування G в середовищі LabVIEW. Це спростило подальшу обробку результатів вимірювань та їх візуалізацію у вихідному інтерфейсі, який містить блок статистичної обробки (БСО) результатів вимірювань та визначення похибки вимірювань, блок побудови осцилограм (БО) і блок побудови спектру (БС) вихідних сигналів радіометра. Наявність БО і БС дозволяє відстежувати як зміну стану об'єкту досліджень, так і розподіл інтенсивності власного випромінювання в мікрохвильовому діапазоні. Застосування автоматизації радіометричних вимірювань дозволяє не тільки візуалізувати результати радіометричних

досліджень, а й через зменшення похибки вимірювань підвищити їх вірогідність.

Нижче приведені результати визначення випадкової складової похибки вимірювань РС: на рис. 5 а до проведення вдосконалення системи (за результатами [11], на рис. 5 б після вдосконалення РС. Як видно з графіків, запропонований метод обробки результатів вимірювань дозволяє суттєво зменшити даний показник.

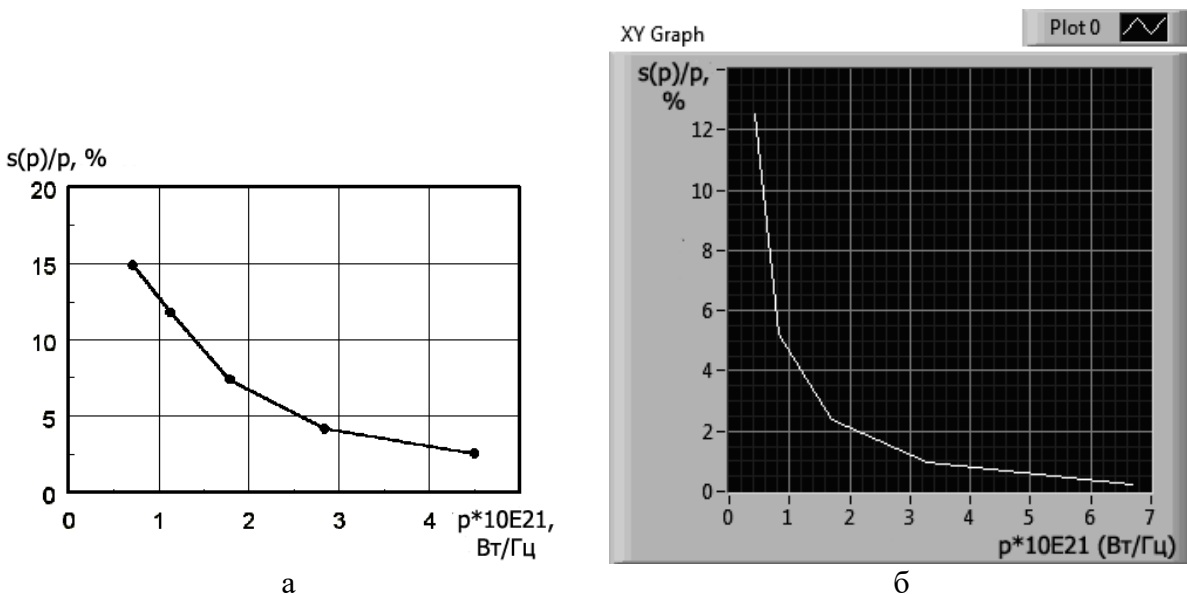


Рис. 5. Залежність випадкової складової похибки вимірювань радіометричної системи: а – за даними праці [11]; б – після вдосконалення

Таким чином, розроблене програмне забезпечення дозволяє використувати метод вимірювання з багатократними спостереженнями при радіометричних дослідженнях фізичних і біологічних об'єктів, що значно (у декілька разів) зменшує випадкову похибку вимірювань.

Інформативною є постійна складова вихідного сигналу, абсолютна величина якої пропорційна інтенсивності електромагнітного випромінювання на вході радіометричної системи. Проте спектр не є лінійчастим. Як показали дослідження, основна частина енергії сигналу зосереджена в діапазоні від 0 до 500 Гц, тобто мають місце дуже значні низькочастотні флуктуації.

Це суттєво ускладнює аналіз результатів радіометричних досліджень і обробку результатів. Автоматизація вимірювань дозволяє не тільки спростити даний процес, а також підвищити точність вимірювань, використовуючи багатократні спостереження. Алгоритм такої обробки результатів подібних вимірювань неважко реалізувати у програмній частині інтерфейсу, застосовуючи методи математичної статистики. Це дозволяє зменшити випадкову складову похибки вимірювань.

Висновки

1. Запропоновано двоступеневий метод обробки вихідних сигналів високочутливої радіометричної системи, який дозволяє:

– по-перше, зменшити похибку вимірювань, що підвищує вірогідність досліджень;

– по-друге, спростити конструкцію автоматизованих систем такого типу за рахунок зниження вимог до каналу передачі даних та зменшення навантаження на центральний процесор персонального комп'ютера, який здійснює основні обчислення та візуалізацію результатів досліджень.

2. Метод може бути використано також для розробки складних радіометричних систем: панорамних вимірювачів, багатоканальних корелометрів та інших, які застосовуються для аналізу низькоінтенсивних сигналів.

Перелік посилань

1. Dicke R. H. The Measurement of Thermal Radiation at Microwave Frequencies / R. H. Dicke // The review of Scientific Instruments. – 1946. – Vol.17, № 7. – pp. 268-275.

2. Wilson T. L. Tools of Radio Astronomy / T. L. Wilson, K. Rohlf, S. Huttemeister. – New York : Springer, 2009. – 568 p.

3. Шарков Е. А. Радиотепловое дистанционное зондирование Земли: физические основы : в 2 т. / Е. А. Шарков. – Т. 1. – М. : ИКИ РАН, 2014. – 544 с.

4. Антюфеев В. И. Применение принципов радиометрии в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов / В. И. Антюфеев, В. Н. Быков, А. М. Гричанюк, В. А. Краюшкин, Р. П. Гахов. – М. : Физматлит, 2009. – 352 с.

5. Поляков В. М. СВЧ-термография и перспективы ее развития. – М. : ЦНИИ «Электроника», 1991. – Вып.8 (1640). – 58 с.

6. Frohlich H. Bose condensation of strongly excited longitudinal electric modes / H. Frohlich // Physics Letters A. – 1968. – Vol. 26, Issue 9. – pp. 402-403.

7. Девятков Н. Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Н. Д. Девятков, М. Б. Голант, О. В. Бецкий. – М. : Радио и связь, 1991. – 168 с.
8. Бецкий О. В. Миллиметровые волны и живые системы / О. В. Бецкий, В. В. Кислов, Н. Н. Лебедева. – М. : САЙНС-ПРЕСС, 2004. – 272 с. – Режим доступа : <http://fireras.su/biblio/wp-content/uploads/52646.pdf>
9. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов / Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Манойлов В.Ф. и др. ; под общ. ред. Ю.А. Скрипника. – Житомир : ЖІТІ, 2003. – 408с.
10. Skou N. Microwave radiometer systems: design and analysis / Niels Skou, David Le Vine. – Boston-London : Artech House, 2006. – 227 p.
11. Skripnik Y. Increased accuracy of measurement of high-sensitivity mm-range radiometric equipment intended for medical-biological application / Y. Skripnik, Krasuk A., V. Manoylov, S. Peregudov, A. Yanenko // 10-th IMEKO TC7 International Symposium ; June 30-July 2, 2004. – Saint-Petersburg, 2004. – pp. 143-148. Режим доступа : <http://www.imeko.org/publications/tc7-2004/IMEKO-TC7-2004-047.pdf>

References

1. Dicke R. H. (1946) The Measurement of Thermal Radiation at Microwave Frequencies. *The review of Scientific Instruments*. Vol.17, No 7, pp. 268-275.
2. Wilson T. L., Rohlf K., and Huttemeister S. (2009) *Tools of Radio Astronomy*, New York, Springer, 568 p.
3. Sharkov E. A. (2014) *Radioteplovoe distantsionnoe zondirovanie Zemli: fizicheskie osnovy* [Radiothermal Earth remote sensing: physical fundamentals]. Moskow, IKI RAN, 544p.
4. Antyufeev V. I., Bykov V. N., Grichanyuk A. M., Krayushkin V. A., and Gakhov R. P. (2009) Primenenie printsipov radiometrii v korrelyatsionno-ekstremal'nykh sistemakh navigatsii letatel'nykh apparatov [Applying the principles of radiometry in the extreme-correlation navigation systems of aircraft]. Moskow, Fizmatlit, 352 p.
5. Polyakov V. M. (1991) SVCh-termografiya i perspektivy ee razvitiya [Microwave thermography and its development prospects]. Vol. 8 (1640), Moskow, TsNII "Elekt-ronika", 58 p.
6. Frohlich H. (1968) Bose condensation of strongly excited longitudinal electric modes. *Physics Letters A*. Vol. 26., Issue 9, pp. 402-403.
7. Devyatkov N. D., Golant M. B., Betskii O. V. (1991) *Millimetrovye volny i ikh rol' v protsessakh zhiznedeyatel'nosti* [Millimeter waves, and their role in life processes]. Moskow, Radio i svyaz', 168 p.
8. Betskii O. V., Kislov V. V., and Lebedeva N. N. (2004) *Millimetrovye volny i zhivye sistemy* [Millimeter waves and alive systems]. Moskow, SAINS-PRESS, 272 p.
9. Skripnik Yu.A. ed., Yanenko A.F., and Manoilov V.F. (2003) Mikrovolnovaya radiometriya fizicheskikh i biologicheskikh ob"ektov [Microwave radiometry of physical and biological objects]. Zhitomir, ZhITI, 408 p.
10. Skou N., and Le Vine D. (2006) *Microwave radiometer systems: design and analysis*. Boston-London, Artech House, 227 p.
11. Skripnik Y., Krasuk A., Manoylov V., Peregudov S., and Yanenko A. (2004) Increased accuracy of measurement of high-sensitivity mm-range radiometric equipment intended for medical-biological application // *10-th IMEKO TC7 International Symposium*, pp. 143-148.

Перегудов С. М., Яненко О. П., Доліч Д. О. Двоступеневий метод обробки результатів вимірювань високочутливої радіометричної системи. Розглянуто метод представлення результатів радіометричних вимірювань, який передбачає попередню обробку сигналів цифровим інтегратором і остаточну обробку отриманих результатів у комп'ютері із застосуванням спеціального програмного забезпечення.

Ключові слова: радіометр, метод вимірювань, похибка вимірювань.

Перегудов С. Н., Яненко. А. Ф., Доліч Д. Ю. Двухступенчатый метод обработки результатов измерений высокочувствительной радиометрической системы. Рассмотрен метод представления результатов радиометрических измерений, который состоит из предварительной обработки сигналов цифровым интегратором и заключительной обработки полученных результатов в компьютере с помощью специального программного обеспечения.

Ключевые слова: радиометр, результаты измерений, погрешность измерений.

Peregudov S. N., Yanenko O. Ph., Dolich D.O. Two-step method of the measurement data processing of the high-sensitivity radiometric system

Introduction The radiometry systems for registration low-intensity noise signals are widely used in science and technique. Automation of such apparatus allows to improve the precision of measurements and facilitate interpretation of results.

Bases of method. One of problems is influence of external radiations on the object of researches. Such radiation arises up at transformation of output signals of the radiometric system in time to the transmission of them in the device of the data processing. The decision of problem, offered in the article, consists in pre-processing of signals through in a digital integrator and post-processing in a computer. The offered method and his engineering realization provide the automatic measuring data processing, and can be used for design of the complex systems: panoramic radiometers, multichannel correlators, and other – for the analysis of the low-intensity noise signals.

Conclusions. The method allows to lower the degree of influencing of radiometer radiations on the test subject, to promote precision of measurements and lower the cost of apparatus.

Keywords: radiometer, measurement data, measurement error.