

УДК 389.629

Ю.О. Скрипник, д.т.н., проф.
К.Л. Шевченко, к.т.н., доц.
О.А. Ваганов, аспір.

Київський національний університет технологій та дизайну

О.П. Яненко, д.т.н., проф.

Національний технічний університет України "КПІ"

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ РАДІОТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЮ МАТЕРІАЛІВ ОДЯГУ

Проаналізовано існуючі схеми радіотеплового контролю матеріалів одягу за рівнем власного електромагнітного випромінювання. Показані шляхи підвищення вірогідності контролю, наведені результати експериментальних досліджень з оцінки рівня випромінювання низки текстильних матеріалів.

Вступ. Радіотепловий контроль якості матеріалів одягу (тканин, шкіри, плівок, композитів тощо) базується на порівнянні рівня електромагнітного випромінювання (ЕМВ) шкірного покриву людини з рівнем ЕМВ досліджуваного матеріалу, нагрітого до середньої температури тіла людини (≈ 310 К). Чим ближчий рівень ЕМВ матеріалу до рівня ЕМВ шкіри людини, тим краща електромагнітна сумісність матеріалу одягу з організмом людини і тим повніше відчуття комфортності одягненої людини [1].

Практична реалізація радіотеплового контролю ускладнена необхідністю вимірювання слабких потоків ЕМВ від нагрітого до вказаної температури матеріалу (спектральна щільність ЕМВ знаходиться в межах 10^{-19} – 10^{-21} Вт/(Гц·см²) в мм-діапазоні). Такий рівень ЕМВ менший рівня власних шумів НВЧ-вимірювачів потужності та вимагає спеціальних алгоритмів обробки сигналів, що приймаються антеною радіометричної системи (РС) [2].

Постановка задачі. Нижче розглядаються варіанти модуляційних РС, за допомогою яких реалізується радіотепловий контроль матеріалів за рівнем ЕМВ, можливість підвищення точності контролю за рахунок виключення впливу власних шумів і сторонніх випромінювань на роботу модуляційної РС (рис. 1).

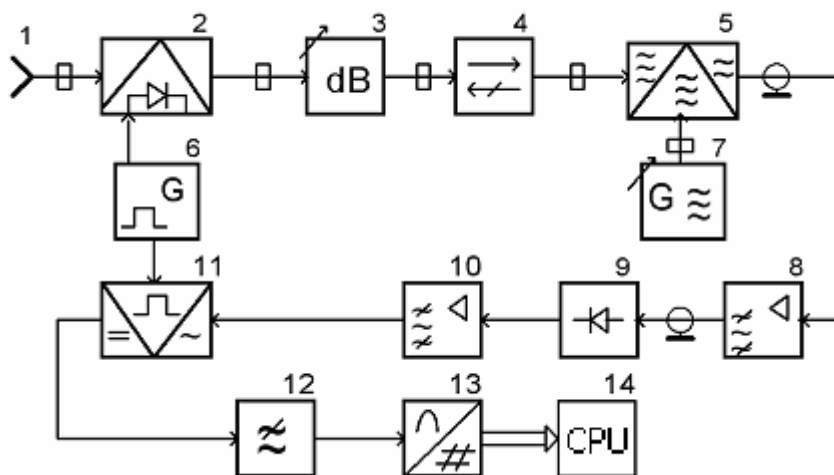


Рис. 1. Схема модуляційної радіометричної системи (РС):

- 1 – приймальна антена; 2 – електрично керований НВЧ-модулятор; 3 – атенуатор;
4 – феритовий вентиль; 5 – балансний змішувач; 6 – генератор низькочастотних прямокутних імпульсів; 7 – генератор НВЧ-сигналів (гетеродин); 8 – підсилювач проміжної частоти; 9 – квадратичний детектор; 10 – вибіркового підсилювач; 11 – синхронний детектор; 12 – фільтр нижніх частот; 13 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
14 – мікроконтролер

Робота РС здійснюється таким чином: шумоподібний сигнал від приймальної антени 1, який переривається генератором 6 низькочастотних прямокутних імпульсів за допомогою електрично керованого НВЧ-модулятора 2, надходить на вхід РС. Атенуатор 3 послаблює сигнал, після чого він надходить на один із входів балансного змішувача 5, на другий вхід якого надходить сигнал гетеродина

7. З виходу балансного змішувача 5 сигнал проміжної частоти надходить на вхід підсилювача 8 проміжної частоти та після підсилення детектується квадратичним детектором 9. Продетектований сигнал виділяється і підсилюється вибірковою підсилювачем 10, на виході якого отримують сигнал тієї ж частоти, який надходить на один із входів синхронного детектора 11, на другий вхід якого подається опорний сигнал від генератора 6 низькочастотних прямокутних імпульсів. Спектр вихідного сигналу має постійну складову, яка пропорційна потужності вхідного сигналу, та низькі частоти завад. Фільтр 12 нижніх частот виділяє постійну складову, яка після АЦП 13 надходить на мікроконтролер 14 для подальшої обробки.

На якість вихідного сигналу значною мірою впливає форма частотної характеристики вибіркового підсилювача 10. Так, на вихід вибіркового підсилювача 10, окрім сигналу частоти комутації, потрапляють також і сигнали флюктуаційних частот, які істотно спотворюють кінцевий результат та значно зменшують чутливість РС в цілому. Вибірковий підсилювач 10 побудований з використанням біквадратного фільтра на операційних підсилювачах [3], налагодженого на частоту генератора 6 низькочастотних прямокутних імпульсів з регульованою смугою пропускання і коефіцієнтом підсилення в межах 15–20 дБ.

Безпосередньо радіотепловий контроль матеріалів відбувається за допомогою РС, яка додатково містить термощафу, приймальну антену, атенуатор, РС і вольтметр [4]. Контрольований матеріал заздалегідь нагрівають до температури 310 К і потім вимірюють його ЕМВ за допомогою РС, в якій прийнятий сигнал з широким частотним спектром піддається поетапному перетворенню, а саме підсиленню, детектуванню та фільтрації. Вихідний сигнал постійного струму вимірюється вольтметром, покази якого пропорційні контролюваному ЕМВ.

Негативним моментом у роботі РС радіотеплового контролю якості матеріалів одягу є охолодження зразка нагрітого матеріалу в процесі вимірювання, велика тривалість якого визначається необхідністю усереднення шумових сигналів. Охолодження зразка обумовлює нестабільність показів РС та велику методичну похибку в оцінці рівня ЕМВ через зменшення рівня випромінювання.

Більш високу точність забезпечує РС, в яку додатково введено термостат з регулятором температури, в якому постійно підтримується необхідна температура (309–310 К), металеву пластину, що нагрівається, на якій розміщують досліджуваний матеріал [5]. Завдяки постійності температури нагріву в процесі вимірювань виключається методична похибка від охолодження. Проте одночасно виникає інша похибка від ЕМВ нагрітої пластини, яке проходить через досліджуваний матеріал і збільшує рівень сигналу, що приймається антеною РС. Ця похибка істотно спотворює результати радіометричного контролю.

У РС радіотеплового контролю матеріалів одягу [6] нагрів досліджуваного матеріалу відбувається безпосередньо від тіла людини. Сама ж РС містить приймальну антену, ключ-модулятор, підключений до виходу приймальної антени, балансний змішувач, гетеродин, з'єднаний з керуючим входом балансного змішувача. До виходу балансного змішувача підключені послідовно з'єднані підсилювач проміжної частоти, квадратичний детектор, вибірковою підсилювач, синхронний детектор, фільтр нижніх частот і вольтметр. Генератор низької частоти керує роботою ключа-модулятора та синхронного детектора. Градуирований атенуатор обнуляє вихідну напругу РС. Крім того, РС радіотеплового контролю якості матеріалів одягу містить металевий екран, який вводиться в зазор між шкірним покривом людини і приймальною антеною.

Заміщаючи досліджуваний матеріал металевим екраном, можна виключити безпосередній вплив ЕМВ джерела нагріву (тіла людини) на приймальну антену. Але при розміщенні досліджуваного матеріалу на шкірному покриві людини разом з радіотепловим випромінюванням матеріалу антеною прийматиметься й власне ЕМВ людини, що завищує рівень радіотеплового випромінювання матеріалу. Для виключення цього завищення від прийнятої антенної потужності ЕМВ віднімають потужність ЕМВ самого джерела нагріву, яку вимірюють радіометричною системою за відсутності досліджуваного матеріалу. Але при цьому не враховується послаблення потоку ЕМВ від нагрівача безпосередньо досліджуванним матеріалом, що викликає істотну похибку вимірювання. Крім того, різночасність вимірювань малих рівнів ЕМВ нагрітого матеріалу та ЕМВ джерела нагріву є причинами великих випадкових похибок.

Результати та їх обговорення. Для підвищення точності радіотеплового контролю необхідно підтримувати постійний нагрів досліджуваного матеріалу та повністю виключити вплив ЕМВ нагріваючого елемента на вимірюване ЕМВ нагрітого матеріалу.

Для досягнення цієї мети в модуляційну РС (рис. 1) введені додаткові елементи, а саме (рис. 2): другий ключ-модулятор 7, другий феритовий вентиль 8, суматор-трійник 5 і другу приймальну антену 2, вихід якої через градуирований атенуатор 6 з'єднаний із входом другого ключа-модулятора 7. Виходи ключів-модуляторів 3 і 7 через феритові вентиля 4 і 8 з'єднані з входами суматора-трійника 5, вихід якого підключений до сигнального входу балансного змішувача 10.

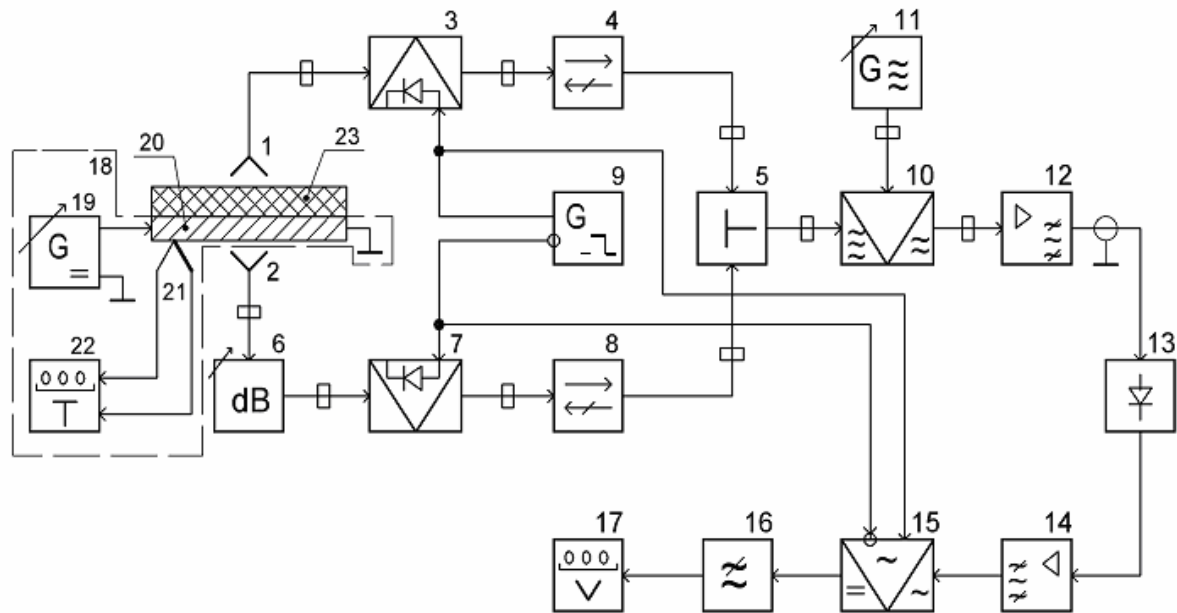


Рис. 2. Схема двоканальної модуляційної РС:

- 1 і 2 – антени; 3 і 7 – ключі-модулятори; 4 і 8 – феритові вентиля; 5 – суматор-трійник;
- 6 – градуйований атенуатор; 9 – генератор низької частоти; 10 – балансний змішувач;
- 11 – гетеродин; 12 – підсилювач проміжної частоти; 13 – квадратичний детектор;
- 14 – вибіркового підсилювач; 15 – синхронний детектор; 16 – фільтр нижніх частот;
- 17 – вольтметр; 18 – блок нагріву досліджуваного матеріалу; 19 – регульоване джерело струму; 20 – металева пластина; 21 – термопара; 22 – термоелектричний термометр;
- 23 – досліджуваний матеріал

У модуляційну РС також введені блок нагріву досліджуваного матеріалу 18, який включає регульоване джерело струму 19, металева пластину 20, з'єднану з регульованим джерелом струму 19, і термоелектричний термометр 22, термопара 21 якого знаходиться в контакті з однією стороною металевої пластини 20, а досліджуваний матеріал 23 контактує з другою стороною металевої пластини 20. При цьому приймальна антена 1 встановлена над досліджуваним матеріалом 23, а приймальна антена 2 – над протилежною непокритою стороною металевої пластини 20.

Антенною 1 приймається ЕМВ від досліджуваного матеріалу 23, нагрітого металевою пластинною 20, через яку протікає струм від регульованого джерела струму 19. Струм нагріву встановлюється за показами термоелектричного термометра 22. Приймальною антенною 2 приймається ЕМВ безпосередньо від нагрітої металевої пластини 20. Якщо прийняти за P_0 потужність ЕМВ металевої пластини 20, то потужності радіотеплових сигналів, прийнятих приймальними антенами 1 і 2, можна представити у вигляді:

$$P_1 = S_1(P_x + P_0 + \Delta P) + P_{n1}, \tag{1}$$

$$P_2 = S_2 q P_0 + P_{n2}, \tag{2}$$

де S_1 і S_2 – крутизна перетворення антен 1 і 2 відповідно, обумовлена їх геометричними розмірами та діаграмою спрямованості; P_x – потужність ЕМВ нагрітого досліджуваного матеріалу 23; ΔP – втрати потужності ЕМВ металевої пластини 20 у досліджуваному матеріалі 23; q – послаблення, що вноситься градуйованим атенуатором 6, виражене у відносних одиницях; P_{n1} і P_{n2} – потужності власних шумів антен 1 і 2.

Прийняті антенами 1 і 2 надвисокочастотні сигнали з потужностями (1) і (2) періодично перериваються ключами-модуляторами 3 та 7 і через феритові вентиля 4 і 8 потрапляють у суматор-трійник 5. Оскільки ключі-модулятори 3 та 7 керуються протифазними напругами генератора 9 низької частоти, то через суматор-трійник 5 надвисокочастотні сигнали проходять у вигляді пакетів коливань (радіоімпульсів) по черзі та періодично з частотою роботи ключів-модуляторів 3 і 7. Радиоімпульсні сигнали по черзі змішуються в балансному змішувачі 10 з коливаннями гетеродина 11, який генерує монохроматичні надвисокочастотні коливання. В результаті змішування утворюються коливання

різничевої частоти, які виділяються та підсилюються підсилювачем 12 проміжної частоти. Радіотеплове випромінювання має, як відомо, широкий спектр. Тому і радіоімпульси, що потрапляють на балансний змішувач 10, є ширококутовими. Але після змішування з монохроматичними коливаннями гетеродина 11 підсилювачем 12 проміжної частоти виділяються вузькосмугові шумові імпульси в межах смуги пропускання. В результаті квадратичного детектування і усереднення вузькосмугових сигналів на виході квадратичного детектора 13 по черзі утворюються відеоімпульси з амплітудами:

$$U_1 = S_3 K_1 S_4 (P_1 + P_3), \quad (3)$$

$$U_2 = S_3 K_1 S_4 (P_2 + P_3), \quad (4)$$

де S_3 – крутизна гетеродинного перетворення частоти радіоімпульсів; K_1 – коефіцієнт підсилення підсилювача 12 проміжної частоти за потужністю; S_4 – крутизна квадратичного перетворення; P_3 – потужність шумів гетеродинного перетворювача частоти (елементів 5, 10, 11 і 12).

У послідовності відеоімпульсів (3) і (4) з різними амплітудами присутня змінна складова напруги частоти модуляції з амплітудою:

$$U_3 = \frac{U_1 - U_2}{2} = \frac{1}{2} S_3 K_1 S_4 (P_1 - P_2). \quad (5)$$

Змінна напруга з амплітудою (5) підсилюється вибіркоким підсилювачем 14, налагодженим на частоту модуляції генератора 9. Підсилена напруга випрямляється синхронним детектором 15 і додатково згладжується фільтром 16 нижніх частот. У результаті отримують постійну напругу:

$$U_4 = \frac{1}{2} S_3 K_1 S_4 K_2 S_5 K_3 (P_1 - P_2), \quad (6)$$

де K_2 – коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача 14; S_5 – крутизна перетворення синхронного детектора 15; K_3 – коефіцієнт передачі фільтра 16 нижніх частот.

Після підстановки у вираз (6) значень (1) і (2) отримуємо:

$$U_5 = \frac{1}{2} S_3 K_1 S_4 K_2 S_5 K_3 [S_1 (P_x + P_0 - \Delta P) - S_2 q P_0 + P_{n1} - P_{n2}]. \quad (7)$$

Якщо антени 1 і 2 мають однакову конструкцію та однакову температуру, то можна вважати, що й їх параметри однакові:

$$S_1 = S_2, \quad (8)$$

$$P_{n1} = P_{n2}. \quad (9)$$

Тоді постійна напруга, що вимірюється вольтметром 17, матиме вигляд:

$$U_6 = \frac{1}{2} S_1 S_3 K_1 S_4 K_2 S_5 K_3 (P_x + P_0 - \Delta P - q P_0). \quad (10)$$

Градуированим атенуатором 6 встановлюють послаблення сигналу, прийнятого антеною 2, пропорційним товщині досліджуваного матеріалу 23 так, щоб виконувалася умова:

$$P_0 - \Delta P = q P_0. \quad (11)$$

При виконанні умови (11) вимірювана напруга:

$$U_7 = \frac{1}{2} S_1 S_3 K_1 S_4 K_2 S_5 K_3 P_x = S_0 P_x, \quad (12)$$

де $S_0 = \frac{1}{2} S_1 S_3 K_1 S_4 K_2 S_5 K_3$ – результуюча крутизна перетворення потужності ЕМВ модуляційною РС на постійну напругу.

З отриманого виразу (12) видно, що вихідна напруга запропонованої РС радіотеплового контролю якості матеріалів одягу пропорційна потужності P_x радіотеплового випромінювання досліджуваного матеріалу 23 і не залежить від рівня потужності P_0 ЕМВ металевієї пластини 20. Крім того, виключено вплив власних шумів антен 1 і 2 (P_{n1} і P_{n2}) та власних шумів (P_3) блока перетворення частоти надвисокочастотних сигналів (елементів 5, 10, 11 і 12).

Низькочастотні шуми квадратичного детектора 13, які незмінно присутні на його виході, пригнічуються за рахунок вибіркоких властивостей вибіркового підсилювача 14, детектування в синхронному детекторі 15 і подальшого усереднення фільтром 16 нижніх частот з великою постійною часу (до 5–7 с).

За оцінку рівня ЕМВ матеріалу, нагрітого до середньої температури тіла людини (310 К), узятя спектральна щільність потужності J_ω радіотеплового випромінювання на середній частоті міліметрового діапазону довжин хвиль (52 ГГц). Спектральна щільність потужності ЕМВ визначалася

потужністю, що була виміряна модуляційною РС, поділеною на смугу пропускання підсилювача 12 проміжної частоти (100 МГц).

Як приклад, на рис. 3 наведені результати експериментальних досліджень рівня ЕМВ деяких текстильних матеріалів – з натуральних, хімічних та змішаних волокон.

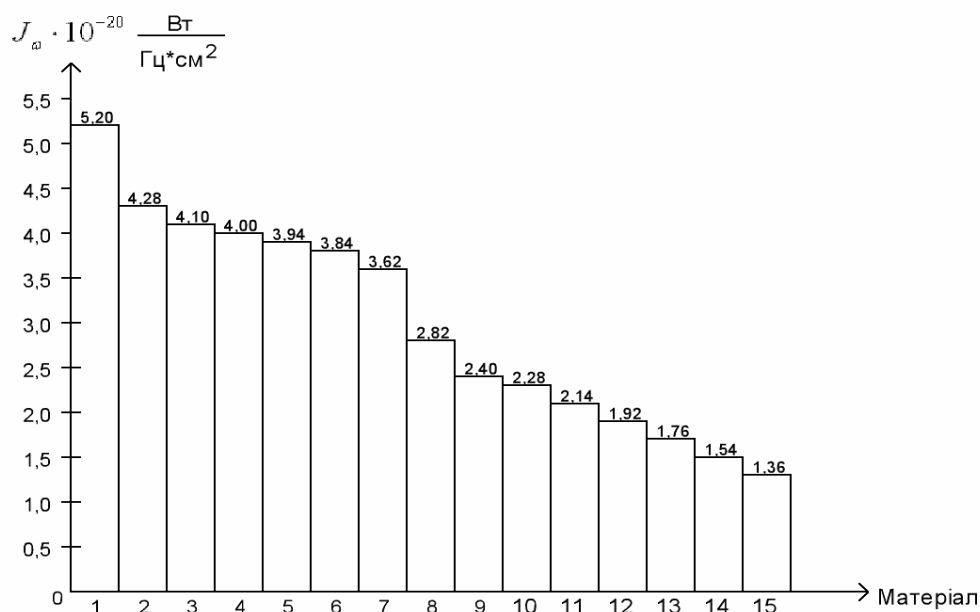


Рис. 3. Гістограма рівнів ЕМВ різних текстильних матеріалів з натуральних, хімічних та змішаних волокон: 1 – шкіра людини; 2 – вовна (100 %); 3 – льон (100 %); 4 – вовна (70 %) + шовк (30 %); 5 – вовна (45 %) + шовк (55 %); 6 – бавовна (100 %); 7 – шовк (100 %); 8 – віскоза (100 %); 9 – бавовна (65 %) + поліефір (35 %); 10 – бавовна (60 %) + поліефір (40 %); 11 – бавовна (55 %) + поліефір (45 %); 12 – бавовна (47 %) + поліефір (53 %); 13 – віскоза (55 %) + поліефір (45 %); 14 – поліефір (100 %); 15 – поліамід (100 %)

Висновки. З гістограми (рис. 3) видно, що тканини з натуральних волокон (вовна, льон, бавовна та ін.) мають рівень ЕМВ, близький до рівня ЕМВ шкіри людини. Тому ці матеріали найбільш сумісні з організмом людини. Крім того, вони не перешкоджають електромагнітному обміну людини з довкіллям, оскільки поглинають та випромінюють електромагнітну енергію так само, як і власна шкіра людини. Навпаки, збільшення у складі матеріалу долі хімічних волокон істотно знижує рівень ЕМВ при тій же температурі та негативно впливає на електромагнітний обмін, що знижує відчуття комфортності одягу з цих матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА:

- 1 Скрипник Ю.О. Частотно-польова оцінка комфортності одягу / Ю.О. Скрипник, Н.П. Супрун, К.Л. Шевченко, О.А. Ваганов // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2009. – № 2 (46). – С. 131–136.
- 2 Скрипник Ю.О. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону : навч. посібн. / Ю.О. Скрипник, В.П. Манойлов, О.П. Яненко. – Житомир : ЖІТІ. – 2001. – 374 с.
- 3 Яненко А.Ф. Особенности выделения частоты коммутации в измерительном канале модуляционного радиометра / А.Ф. Яненко, А.Д. Красюк, М.В. Колисниченко, С.Н. Перегудов, С.А. Скрипник // Материалы 19-ой Международной конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" "КрыМиКо-2009". – Севастополь, 2009. – С. 773–774.
- 4 Островецкая Ю.И. Микроволновая оценка комфортности материалов для одежды / Ю.И. Островецкая, Н.П. Супрун, Ю.А. Скрипник, А.Ф. Яненко // Материалы 12-ой Международной конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" "КрыМиКо-2002". – Севастополь, 2002. – С. 561–562.
- 5 Скрипник Ю.О. Дослідження електромагнітних властивостей текстильних матеріалів, оброблених натуральними фарбниками / Ю.О. Скрипник, О.А. Ваганов, Н.П. Супрун та ін. // Вісник НТУУ "Київський політехнічний інститут". Серія "Приладобудування". – 2009. – Вип. 37. – С. 134–140.

- 6 Пристрій для вимірювання мікрохвильової проникності матеріалів для одягу : пат. Україна : МПК G01N22/00 / Ю.О. Скрипник, Н.П. Супрун, Ю.І. Островецька, О.П. Яненко. № 66619А, – 2004. – Бюл. № 5.

СКРИПНИК Юрій Олексійович – доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації та комп'ютерних систем Київського національного університету технологій та дизайну.

Наукові інтереси:

- розробка методів підвищення точності вимірювальної апаратури;
- радіометрія та вимірювання слабких сигналів.

Тел.: (044)256–21–30.

ШЕВЧЕНКО Костянтин Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерних систем Київського національного університету технологій та дизайну.

Наукові інтереси:

- автоматизація та комп'ютерна обробка сигналів;
- радіометрія та вимірювання слабких сигналів.

Тел.: (044)256–29–93.

ВАГАНОВ Олексій Анатолійович – аспірант кафедри автоматизації та комп'ютерних систем Київського національного університету технологій та дизайну.

Наукові інтереси:

- дослідження методів оцінки комфортності одягу;
- радіометрія та вимірювання слабких сигналів.

Тел.: (044)256–29–63.

ЯНЕНКО Олексій Пилипович – доктор технічних наук, професор кафедри проектування радіоелектронної апаратури Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- досліджування власного випромінювання людини в НВЧ діапазоні;
- радіометрія та вимірювання слабких сигналів.

Тел.: (044)227–31–00.

Подано 16.01.2010

Скрипник Ю.О., Шевченко К.Л., Ваганов О.А., Яненко О.П. Вдосконалення засобів радіотеплового контролю матеріалів одягу

Скрипник Ю.А., Шевченко К.Л., Ваганов А.А., Яненко А.Ф. Совершенствование средств радиотеплового контроля материалов одежды

Skripnik Ju.A., Shevchenko K.L., Vaganov A.A., Janenko A.F. Perfection of means of the radio thermal control of materials of clothes.

УДК 389.629

Совершенствование средств радиотеплового контроля материалов одежды / Ю.А. Скрипник, К.Л. Шевченко, А.А. Ваганов, А.Ф. Яненко

Проведен анализ существующих схем радиотеплового контроля материалов одежды по уровню собственного электромагнитного излучения. Показаны пути повышения достоверности контроля, приведены результаты экспериментальных исследований по оценке уровня излучения ряда текстильных материалов.

УДК 389.629

Perfection of means of the radio thermal control of materials of clothes / Ju.A. Skripnik, K.L. Shevchenko, A.A. Vaganov, A.F. Janenko

It is spent analysis existing schemes of the radio thermal control of materials of clothes on level of own electromagnetic radiation. Ways of increase of reliability are shown the control, are resulted results of experimental researches according to level of radiation of some textile materials.