



УКРАЇНА

(19) UA (11) 50507 (13) U
(51) МПК (2009)
G01N 22/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ РАДІОТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ МАТЕРІАЛІВ ОДЯГУ

1

2

(21) u200913493

(22) 24.12.2009

(24) 10.06.2010

(46) 10.06.2010, Бюл. № 11, 2010 р.

(72) СКРИПНИК ЮРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, ВАГАНОВ
ОЛЕКСІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ(73) КІЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) 1. Пристрій радіотеплового контролю якості матеріалів одягу, що містить блок нагріву досліджуваного матеріалу, приймальну антену, два ключі-модулятори, один з яких з'єднаний з приймальною антеною та з генератором низької частоти, балансний змішувач, керуючий вхід якого з'єднаний з гетеродином, а до виходу підключені послідовно з'єднані підсилювач проміжної частоти, квадратичний детектор, вибіркового підсилювач, синхронний детектор, фільтр нижніх частот і вольтметр, та градуйований атенуатор, який **відрізняється** тим, що в нього додатково введені два феритові вентиля, суматор-триггер і друга приймальна антена, вихід якої через градуйований атенуатор з'єднаний з входом другого ключа-модулятора, керуючий вхід якого з'єднаний з інве-

рсным виходом генератора низької частоти, прямий і інверсний виходи якого підключені до керуючих входів синхронного детектора, а виходи ключів-модуляторів через феритові вентиля з'єднані з входами суматора-триггера, вихід якого з'єднаний з сигнальним входом балансного змішувача.

2. Пристрій радіотеплового контролю якості матеріалів одягу за п. 1, який **відрізняється** тим, що блок нагріву досліджуваного матеріалу включає регульоване джерело струму, металеву пластину, з'єднану з регульованим джерелом струму, і термоелектричний термометр, термопара якого розташована між металевою пластинкою та досліджуванним матеріалом для контакту з ними.

3. Пристрій радіотеплового контролю якості матеріалів одягу за пп. 1, 2, який **відрізняється** тим, що одна приймальна антена встановлена над досліджуванним матеріалом, друга приймальна антена - над протилежною непокритою стороною металевої пластини, а градуйований атенуатор встановлений з послабленням, пропорційним товщині досліджуваного матеріалу.

Корисна модель відноситься до області аналізу електромагнітних властивостей матеріалів одягу для людей і може бути використана для контролю якості різних матеріалів (тканин, шкіри, плівок, композитів і т.п.) за рівнем радіотеплового випромінювання в мікрохвильовому діапазоні.

Радіотепловий контроль якості матеріалів одягу базується на порівнянні рівня електромагнітного випромінювання (ЕМВ) шкірного покриву людини з рівнем ЕМВ досліджуваного матеріалу, нагрітого до середньої температури тіла людини (310 К). Чим ближче рівень ЕМВ матеріалу до рівня ЕМВ шкіри людини, тим краще електромагнітна сумісність матеріалу одягу з організмом людини, і тим повніше відчуття комфортності одягненої людини (Скрипник Ю.О., Супрун Н.П., Шевченко К.Л., Ваганов О.А. Частотно-польова оцінка комфортності одягу // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну,

2009, №2 (46). - С. 131-136). Практична реалізація радіотеплового контролю ускладнена необхідністю вимірювання дуже слабких потоків ЕМВ від нагрітого до вказаної температури матеріалу (спектральна щільність ЕМВ знаходиться в межах $10^{-19} - 10^{-21}$ Вт/(Гц·см²) в міліметровому діапазоні довжин хвиль). Такий рівень ЕМВ, на жаль, менше рівня власних шумів надвисокочастотних вимірювачів потужності і вимагає спеціальних алгоритмів обробки сигналів ЕМВ, що приймаються антеною вимірювача.

Відомий пристрій радіотеплового контролю якості матеріалів одягу (Островецкая Ю.И., Супрун Н.П., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф. Микроволновая оценка комфортности материалов для одежды // Материалы 12-ой Международной конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" "КрыМиКо-2002" - Севастополь. - 2002. С.561-562), який містить термокаф, приймальну антену, ате-

(13) U

(11) 50507

(19) UA

нюатор, радіометричну систему і вольтметр. Контрольований матеріал заздалегідь нагрівають до температури 310 K і потім вимірюють його ЕМВ за допомогою радіометричної системи, в якій прийнятий сигнал з широким частотним спектром піддається поетапному перетворенню, а саме, підсиленню, детектуванню та фільтрації. Вихідний сигнал постійного струму вимірюється вольтметром.

Негативним моментом в роботі пристрою 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 радіометричної системи та велику методичну похибку в оцінці рівня ЕМВ через зменшення рівня випромінювання.

Відомий пристрій радіотеплового контролю якості матеріалів одягу (Скрипник Ю.О., Ваганов О.А., Супрун Н.П. та Ін. Дослідження електромагнітних властивостей текстильних матеріалів, оброблених натуральними фарбниками // Вісник НТУУ "Київський політехнічний інститут". Серія "Приладобудування", 2009, Випуск 37. - С. 134-140), який містить термощаф, приймальну антену, атенуюатор, радіометричну систему і вольтметр. 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 антенною радіометричної системи. Ця похибка істотно спотворює результати радіометричного контролю.

Відомий також пристрій радіотеплового контролю якості матеріалів одягу (Патент України №66619А, МПК G01N22/00, 2003 р.), що містить блок нагріву досліджуваного матеріалу, приймальну антену, два ключа-модулятора, один з яких з'єднаний з приймальною антенною та з генератором низької частоти, балансний змішувач, керуючий вхід якого з'єднаний з гетеродином, а до виходу підключені послідовно з'єднані підсилювач проміжної частоти, квадратичний детектор, вибіркового підсилювач, синхронний детектор, фільтр нижніх частот і вольтметр, та градуйований атенуюатор. Крім того, пристрій радіотеплового контролю якості матеріалів одягу містить металевий екран, який вводиться в зазор між шкірним покривом людини і приймальною антенною.

Заміщаючи досліджуваний матеріал металевим екраном, можна виключити безпосередній вплив ЕМВ джерела нагріву (тіла людини) на приймальну антену. Але при подальшому розміщенні досліджуваного матеріалу на шкірному покриві людини разом з радіотепловим випромінюванням матеріалу антенною прийматиметься й власне ЕМВ людини, що завищує рівень радіотеплового випромінювання матеріалу. Для виключення цього завищення з прийнятої антенної потужності ЕМВ віднімають потужність ЕМВ самого джерела нагріву, яку вимірюють радіометричною системою за відсутністю

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.

В основу корисної моделі покладена задача створити такий пристрій радіотеплового контролю якості матеріалів одягу, в якому введенням нових елементів і зв'язків можна було б постійно підтримувати необхідний нагрів досліджуваного матеріалу та повністю виключити вплив ЕМВ нагріваючого елемента на вимірюване ЕМВ нагрітого матеріалу, що підвищить точність та достовірність радіотеплового контролю якості матеріалів для одягу.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій радіотеплового контролю якості матеріалів одягу, що містить блок нагріву досліджуваного матеріалу, приймальну антену, два ключа-модулятора, один з яких з'єднаний з приймальною антенною та з генератором низької частоти, балансний змішувач, керуючий вхід якого з'єднаний з гетеродином, а до виходу підключені послідовно з'єднані підсилювач проміжної частоти, квадратичний детектор, вибіркового підсилювач, синхронний детектор, фільтр нижніх частот і вольтметр, та градуйований атенуюатор, згідно з корисною моделлю, в нього введені два феритові вентиля, суматор-трийник і друга приймальна антена, вихід якої через градуйований атенуюатор з'єднаний з входом другого ключа-модулятора, керуючий вхід якого з'єднаний з інверсним виходом генератора низької частоти, прямий і інверсний виходи якого підключені до керуючих входів синхронного детектора, а виходи ключів-модуляторів через феритові вентиля з'єднані з входами суматора-трийника, вихід якого з'єднаний з сигнальним входом балансного змішувача.

Доцільно, щоб блок нагріву досліджуваного матеріалу включав регульоване джерело струму, металеву пластину, з'єднану з регульованим джерелом струму, і термоелектричний термометр, термopара якого розташовувалася б між металевою пластиною та досліджуваним матеріалом для контакту з ними.

Доцільно, щоб одна приймальна антена була встановлена над досліджуваним матеріалом, друга приймальна антена - над протилежною непокритою стороною металевої пластини, а градуйований атенуюатор було встановлено з послабленням, пропорційним товщині досліджуваного матеріалу.

Введення в схему пристрою радіотеплового контролю якості матеріалів одягу двох феритових вентилів, суматора-трийника і другої приймальної антени, з'єднаних зазначеним чином, дозволяє безпосередньо порівнювати потужність ЕМВ нагрітого матеріалу з потужністю ЕМВ самого нагрівача. Наявність феритових вентилів в двох приймальних каналах пристрою радіотеплового контролю якості матеріалів одягу виключає вплив одного сигналу, що приймається, на інший та

зменшує інтерференційні перешкоди від власних шумів. Суматор-триїник і протифазне керування двома ключами-модуляторами забезпечує почергову дію прийнятих приймальними антенами надвисокочастотних сигналів на гетеродинний блок перетворення частоти, який сигнали мікрохвильового діапазону перетворює в сигнали більш низької проміжної частоти. Подальше квадратичне детектування і виділення вибіркового підсилювачем напруги частоти модуляції, синхронне детектування цієї напруги та фільтрація забезпечують формування постійної напруги, пропорційної різниці потужностей надвисокочастотних сигналів, прийнятих двома приймальними антенами незалежно від рівня власних шумів перетворюючих ланок пристрою. Отриманий різницевий сигнал відображає рівень ЕМВ нагрітого матеріалу незалежно від рівня ЕМВ самого нагрівального елементу, що входить в блок нагріву досліджуваного матеріалу.

Виконання блоку нагріву досліджуваного матеріалу у вигляді металеві пластины, що нагрівається електричним струмом, і розташування досліджуваного матеріалу на одній стороні пластины, а термопари термоелектричного термометра на другій стороні пластины дає можливість отримати окремо потоки ЕМВ нагрітого досліджуваного матеріалу разом з ЕМВ металеві пластины і ЕМВ лише нагрітої металеві пластины, що дозволяє їх безперервно порівнювати і здійснювати корекцію результатів вимірювань.

Розташування приймальних антен по обидві сторони металеві пластины забезпечує одночасний прийом порівнюваних ЕМВ, які після почергового одноканального модуляційного перетворення дають постійну напругу, пропорційну лише ЕМВ досліджуваного матеріалу незалежно від рівня ЕМВ самого нагрівача і товщини досліджуваного матеріалу, що підвищує точність і достовірність радіотеплового контролю якості матеріалів одягу.

На фіг. 1 приведена електрична функціональна схема пристрою радіотеплового контролю якості матеріалів одягу, на фіг. 2 - гістограма рівнів ЕМВ різних текстильних матеріалів з натуральних, хімічних і змішаних волокон.

Пристрій радіотеплового контролю якості матеріалів одягу (фіг. 1) містить приймальні антени 1 і 2; до приймальної антени 1 через ключ-модулятор 3 і феритовий вентиль 4 підключений одним входом суматор-триїник 5, а до приймальної антени 2 через градуїований аттенуатор 6, ключ-модулятор 7 і феритовий вентиль 8 підключений суматор-триїник 5 другим входом. Ключі-модулятори 3 і 7 керуються від одного генератора 9 низької частоти, але від протифазних виходів. Сигнальний вхід балансного змішувача 10 з'єднаний з виходом суматора-триїника 5, до керуючого входу балансного змішувача 10 підключений гетеродин 11. До виходу балансного змішувача 10 підключені послідовно з'єднані підсилювач 12 проміжної частоти, квадратичний детектор 13, вибіркового підсилювач 14, синхронний детектор 15, який керується протифазними напругами генератора 9 низької частоти, фільтр 16

нижніх частот і вольтметр 17. Блок нагріву досліджуваного матеріалу 18 містить регульоване джерело струму 19, з'єднане з металеві пластиною 20, з однією із сторін якої контактує термопара 21 термоелектричного термометра 22.

Позицією 23 позначено досліджуваний матеріал, що контактує з протилежною стороною металеві пластины 20.

Пристрій радіотеплового контролю якості матеріалів одягу працює таким чином.

Приймальною антеною 1 приймається ЕМВ досліджуваного матеріалу 23, нагрітого металеві пластиною 20, через яку протікає струм від регульованого джерела струму 19. Струм нагріву встановлюється за показами термоелектричного термометра 22, які повинні відповідати температурі 310К. Приймальною антеною 2 приймається ЕМВ безпосередньо від нагрітої металеві пластины 20. Якщо прийняти за P_0 потужність ЕМВ металеві пластины 20, то потужності радіотеплових сигналів, прийнятих приймальними антенами 1 і 2, можна представити у вигляді:

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

$$P_2 = S_2 q P_0 + P_{n2}, \quad (2)$$

де S_1 і S_2 - крутизна перетворення приймальних антен 1 і 2 відповідно, обумовлена їх геометричними розмірами та діаграмою спрямованості;

P_x - потужність ЕМВ нагрітого досліджуваного матеріалу 23;

ΔP - втрати потужності ЕМВ металеві пластины 20 в досліджуваному матеріалі 23;

q - послаблення, що вноситься градуїованим аттенуатором 6, виражене у відносних одиницях;

P_{n1} і P_{n2} - потужності власних шумів приймальних антен 1 і 2.

Прийняті приймальними 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 в суматор-триїник 5. Оскільки ключі-модулятори 3 та 7 керуються протифазними напругами генератора 9 низької частоти, то через суматор-триїник 5 надвисокочастотні сигнали проходять у вигляді пакетів коливань (радіоімпульсів) по черзі і періодично з частотою роботи ключів-модуляторів 3 і 7. Радіоімпульсні сигнали по черзі змішуються в балансному змішувачі 10 з коливаннями гетеродина 11, який генерує монохроматичні надвисокочастотні коливання. В результаті змішування утворюються коливання різницевої 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 широкосмуговими. 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 вибірконим підсилювачем 14, налагодженим на низьку частоту модуляції генератора 9 низької частоти. Підсилена напруга випрямляється синхронним детектором 15 і додатково згладжується фільтром 16 нижніх частот. В 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 фільтру 16 нижніх частот.

Після підстановки у вираз (6) значень (1) і (2) отримуюмо

$$U_5 = \frac{1}{2} S_3 K_1 S_4 K_2 S_5 K_3 \{ P_1 (P_x + P_o - \Delta P) - S_2 q P_o + P_{n1} - P_{n2} \}. \quad (7)$$

Якщо приймальні антени 1 і 2 мають однакову конструкцію, 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

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

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

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

При виконанні умови (11) вимірювана напруга

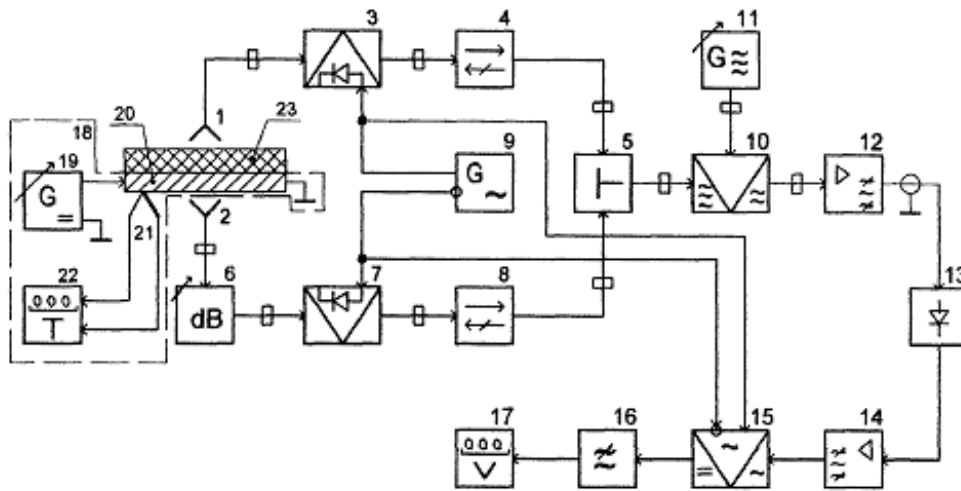
$$U_7 = \frac{1}{2} S_1 S_3 K_1 S_4 K_2 S_5 K_3 P_x = S_o P_x, \quad (12)$$

$$S_o = \frac{1}{2} S_1 S_3 K_1 S_4 K_2 S_5 K_3$$

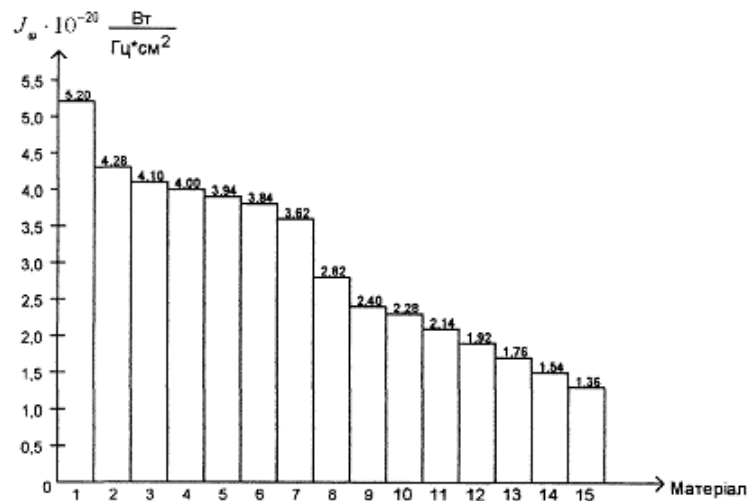
де S_o - результуюча крутизна перетворення потужності ЕМВ модуляційною схемою в постійну напругу.

З отриманого виразу (12) видно, що вихідна напруга запропонованого пристрою радіотеплового контролю якості матеріалів одягу пропорційна потужності P_x радіотеплового випромінювання досліджуваного матеріалу 23 і не залежить від рівня потужності P_o ЕМВ металевої пластини 20. Крім того, виключено вплив власних шумів приймальних антен 1 і 2 (P_{n1} і P_{n2}) та власних шумів (P_3) блоку перетворення частоти надвисокочастотних сигналів (елементів 5, 10, 11 і 12). Низькочастотні шуми квадратичного детектора 13, які незмінно присутні на його виході, пригнічуються за рахунок вибірових властивостей вибіркового підсилювача 14, детектування в синхронному детекторі 15 і подальшого усереднення фільтром 16 нижніх частот з великою постійною часу (до 5-7 с). Вказані переваги дозволяють з більшою роздільною здатністю оцінювати випромінювальну здатність різних матеріалів для одягу. Як приклад, на фіг. 2 наведені результати експериментальних досліджень рівня ЕМВ деяких текстильних матеріалів. За оцінку рівня ЕМВ матеріалу, нагрітого до середньої температури тіла людини (310 К), узятя спектральна щільність потужності J_o радіо теплового випромінювання на середній частоті міліметрового діапазону довжин хвиль (52 ГГц). Спектральна щільність потужності ЕМВ визначалася потужністю, що була виміряна запропонованим пристроєм, поділеною на смугу пропускання підсилювача 12 проміжної частоти (100 МГц). Остання визначає смугу частот мікрохвильового випромінювання, на яку реагує пристрій з гетеродинним перетворенням частоти радіотеплових сигналів.

З гістограми (фіг. 2) видно, що тканини з натуральних волокон (вовна, 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.



Фиг. 1



- 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%).

Фиг. 2