

МОДИФІКОВАНІ СТРУКТУРИ ПРОЦЕСОРІВ ДВОКАДРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛУ ПІРОВІДИКОННОЇ КАМЕРИ

© Кондратов П.О., Шклярський В.І., 2011

Пропонуються розроблені структури процесорів двокадрової обробки сигналу для автономної неохолоджуваної тепловізійної камери на базі піровідикону, які дають змогу оптимізувати одержання результуючого піросигналу за допомогою застосування його різницевої аналого-цифрової обробки і, як наслідок, істотного зменшення впливу розбіжностей п'єдесталу на якість теплового зображення об'єкта моніторингу.

Ключові слова: ТПК, АЦП, ЦАП.

The developed structures of processors of processing of a shot for independent not cooled thermovision chambers on base pyroelectric vidicons which allow to optimize reception process in final signals by application difference its analogue-digital processing and, as consequence, essential reduction of influence nonuniform a pedestal on quality of the thermal image of object of monitoring are offered.

Key words: TIC, ADT, DAT.

Вступ

Останнім часом спостерігається бурхливий розвиток систем дистанційного моніторингу, які дають змогу з високою ефективністю отримувати інформацію про стан та вплив на навколишнє середовище складних об'єктів (здебільшого енергетичних). Їхні значні розміри, особливо мереж та пристроїв передачі енергії від постачальника до користувача, робить дистанційний моніторинг чи не єдиним швидкодіючим засобом їх діагностики та попередження виходу з ладу. Реєстрація інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, яке супроводжує їх роботу, створює унікальні можливості щодо оперативного визначення та ідентифікації ділянок об'єктів і систем з граничними параметрами, а відтак розробки та побудови систем підтримання оптимального режиму експлуатації об'єктів енергетики та інших галузей діяльності людини на терені впровадження енергозберігаючих технологій.

Наразі, як ІЧ детектори систем дистанційного моніторингу, інтенсивно застосовують наявні та розробляють нові тепловізійні камери (ТПК) на, зокрема, ПЗЗ та болометричних матрицях. Але актуальним лишається й застосування ТПК на піровідиконах (ПВ). Їхніми перевагами є порівняно низькі вартість, незначні масогабарити і споживання, що уможливило їх масове впровадження у системи моніторингу, а також можливість роботи в широкому ІЧ спектрі.

До того ж чутливість сучасних ПВ недостатня для формування з їхнього піросигналу якісного зображення, придатного для узгодження з отриманим у видимому діапазоні (що необхідно для чіткої координатної прив'язки та ідентифікації досліджуваного об'єкта чи його ділянки) на відстані, потрібній для проведення дистанційного моніторингу. Вирішення цієї проблеми можливе на таких взаємопов'язаних шляхах, як вдосконалення, зокрема, застосовуваних ПВ, методів формування п'єдесталу і зчитування потенційного рельєфу мішені та, особливо, первинної обробки піросигналу [1].

Особливості формування піросигналу

Оскільки піроелектрик є диференційним приймачем, то для модуляції ІЧ випромінювання, що надходить на мішень ПВ, зазвичай використовують панорамування. Проте порівняно з ним

періодичне переривання випромінювання (обтюрація) забезпечує можливість накопичення піросигналу під час його подальшого оброблення, що істотно підвищує чутливість ТПК, та відсутність т.зв. “теплого хвоста”, який маскує сусідні деталі зображення. Тому цей режим найпридатніший під час роботи ТПК на ПВ у складі комп’ютерного комплексу. Піросигнал, генерований за закритого (U_{S-}) та відкритого (U_{S+}) обтюратора (рис. 1), можна виразити як

$$U_{S-} = P_- - S_-, \quad U_{S+} = P_+ + S_+ \approx P_- + \Delta P + S_+, \quad (1)$$

де P_+ , P_- – компонента п’єдестала положеннях обтюратора; ΔP – різницева компонента; S_+ , S_- – корисні компоненти сигналу, $S_+ \approx S_-$.

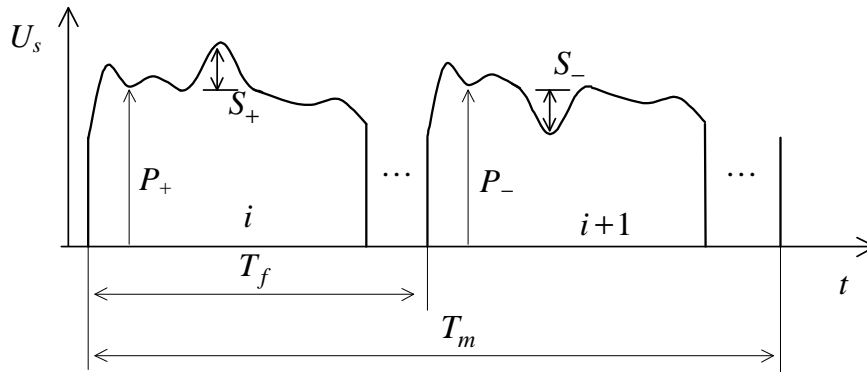


Рис. 1. Часова діаграма піросигналу для суміжних кадрів та одного рядка розгортки (в режимі, коли на період модуляції T_m припадає два кадри розгортки тривалістю T_f)

Щоб отримати уніполярний сигнал, усунути корельовані та зменшити некорельовані структурні шуми, зазвичай застосовується обробка зображення у цифровому відеопроцесорі двокадрової обробки сигналу (ДОС) (рис. 2) [2].

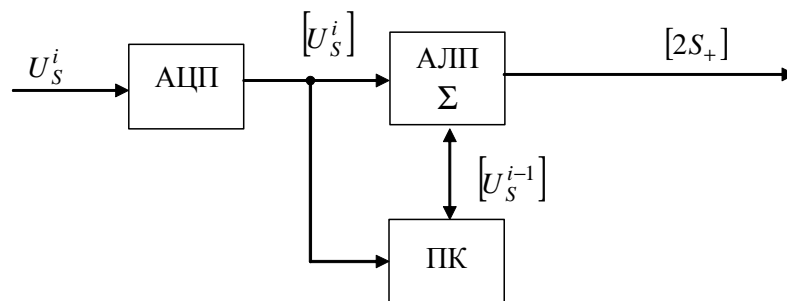


Рис. 2. Узагальнена структура процесора ДОС: АЛП – арифметико-логічний пристрій, ПК – пам’ять кадру

Вона полягає у накопиченні різниці піросигналів суміжних кадрах розгортки:

$$R_n = \frac{1}{n} \cdot \left| \sum_{i=1}^n [(P_i \pm S_i) - (P_{i+1} \mp S_{i+1})] \right| \approx +S + \frac{\sqrt{n} \cdot \Delta P}{n}, \quad (2)$$

де i – номер плинного кадру; n – кількість накопичених кадрів.

Але необхідно враховувати, що рівень п’єдесталу, як правило, є вищим в 3–10 разів за амплітуду корисної компоненти, а його часова та просторова нерівномірність спричинена, зокрема, флуктуацією коефіцієнта вторинної емісії по площі мішені та зміною коефіцієнта відбиття обтюратора, може сягати 15–30 %, тому для одержання 8–10 значущих біт піросигналу АЦП (отже, й відеопроцесор загалом) повинен мати 12–14 розрядів (і це – у разі високої швидкості перетворення, оскільки для забезпечення мінімальної термодифузії часто застосовують високі частоти модуляції і розгортки).

Пропоновані модифікації структури відеопроцесора

З метою ефективнішого використання динамічного діапазону відеопроцесора (тобто для квантування не всього піросигналу, а лише його корисної складової) різницеву обробку можливо виконувати у аналоговий спосіб [3]. У цій структурі (рис. 3) при закритому обтюраторі у ПК через АЦП надходить негативний кадр (P-S), який у разі надходження наступного (позитивного) кадру (P+S) через ЦАП передається на диференційний підсилювач, що виконує різницеву обробку.

$$- [(P-S) - (P+S)] = 2S. \quad (3)$$

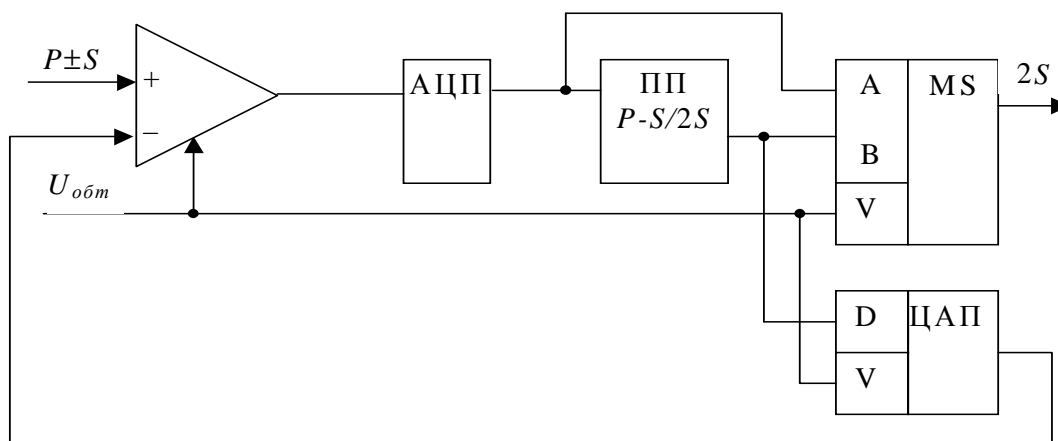


Рис. 3. Структурна схема дворівневого ДОС відеопроцесора з проміжним відніманням сигналу

Отриманий різницевий сигнал підсилюється до необхідного значення, запам'ятовується і передається на вихід. У разі надходження наступного негативного кадру на вихід надходить зміст пам'яті, ЦАП блокується, а коефіцієнтом підсилення диференційного підсилювача та комутаторами керує стан обтюратора $U_{обт}$ (відкритий/закритий).

Поліпшену обробку можна досягнути використанням послідовної двоступеневої ДОС – грубої та точної, як показано на рис. 4

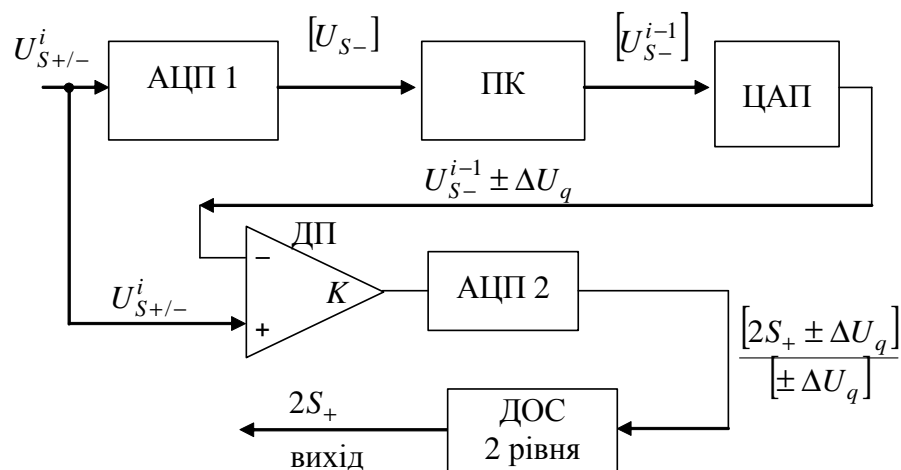


Рис. 4. Аналого-цифрове формування різниці кадрів

Відеопроцесор працює так. Сигнал, генерований у полі розгортки, яке відповідає закритому стану обтюратора (U_{S-}^i), оцифровується низькорозрядним АЦП1 і зберігається в пам'яті кадру. Далі, цей сигнал знову перетворюється в аналогову форму цифро-аналоговим перетворювачем ЦАП і віднімається диференційним підсилювачем ДП від сигналу, який зчитується тепер. На виході ДП отримується підсилений в K разів грубо виділений корисний сигнал $2S_+ \pm \Delta U_q$ для відкритого

обтюратора і компонента помилки $\pm \Delta U_q$ (спричинюється АЦП і ЦАП) – для закритого. Це груба обробка першого рівня. На другому рівні обробки другий низькорозрядний аналогово-цифровий перетворювач (АЦП2) оцифровує грубовиділений сигнал з оптимальним динамічним діапазоном. IDP другого рівня повністю усуває з цього сигналу помилкову компоненту, оскільки $\pm \Delta U_q$ залишається незмінним під час двох послідовних кадрів розгортки.

Ця структура вузла обробки дає змогу використовувати низькорозрядні АЦП і дозволяє усунути більшість недоліків стандартної ДОС. Недоліки цієї структури полягають у такому:

1. Складність – два АЦП, ЦАП, пам'ять на два поля розгортки.
2. Вихідний сигнал можна використовувати лише кожне друге поле розгортки.
3. Інформація про п'єдестал все ще не використовується.

Структуру вузла обробки, наведена на рис. 4, можна спростити вилученням АЦП2 і ДОС другого рівня. Перевагою такої спрощеної структури над стандартною полягає у зменшеному вдвічі рівні шумів квантування.

Подальші поліпшення полягають у використанні мультиплексування АЦП між ДОС 1-го та 2-го рівнів, що дозволяє використати лише один АЦП. Пропонована структура вузла обробки для цього випадку показана на рис. 5. Цей варіант процесора працює подібно до попереднього, за винятком того, що сигнал, збережений в пам'яті кадру і використовуваний для грубої ДОС обробки, запам'ятовується один раз на певну кількість кадрів розгортки N (наприклад, кожний 10-й кадр).

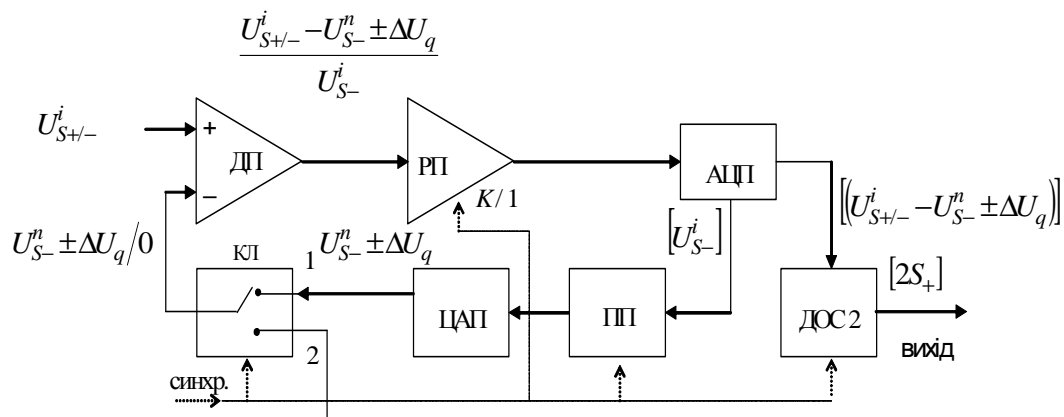


Рис. 5. Структурна схема дворівневої ДОС відеопроцесора з проміжним відніманням сигналу, формованого у разі закритого обтюратора і одного АЦП

Це може бути здійснене тому, що компонента сигналу, спричинена п'єдесталом, змінюється в часі повільно і незначно.

Додатковий регульований підсилювач (РП) і ключ (КЛ) введено, щоб реалізувати мультиплексування АЦП. Під час циклу оновлення пам'яті кадру (обтюратор в закритому стані), КЛ перебуває в позиції 2, коефіцієнт підсилення РП встановлюють таким, що дорівнює одиниці. У цій фазі АЦП оцифровує вхідний непідсилений сигнал U_{S-}^i , який потім зберігається в пам'яті кадру ДОС першого рівня. Під час обробки сигналу підсилення РП становить K разів і КЛ перебуває в позиції 2. У кожному полі розгортки ДП формує різницю генерованого та затриманого сигналів. Після оптимального підсилення в K разів АЦП оцифровує цю різницю. Потім сигнал подається на ДОС другого рівня, яка усуває залишкову помилку.

Цей варіант структури процесора дає змогу обробляти сигнали від динамічних об'єктів. Розглянемо, що станеться, коли компонента, спричинена п'єдесталом, зміниться на ΔP і корисна компонента зміниться на ΔS з часу останнього оновлення пам'яті кадру (першого рівня). Сигнал на вході ДОС другого рівня для відкритого (5) та закритого (6) положень обтюратора можна записати

$$(U_{S+}^i - U_{S-}^n \pm \Delta U_q) = 2S + \Delta S + \Delta P \mp \Delta U_q, \quad (5)$$

$$(U_{S-}^i - U_{S-}^n \pm \Delta U_q) = -\Delta S + \Delta P \mp \Delta U_q. \quad (6)$$

Після ДОС другого рівня отримуємо сигнал

$$2S + \Delta S + \Delta P \mp \Delta U_q - (-\Delta S + \Delta P \mp \Delta U) = 2 \cdot (S + \Delta S), \quad (7)$$

так що цей варіант може працювати з динамічними зображеннями.

Переваги цього алгоритму обробки – використання лише одного АЦП і генерування обробленого сигналу в кожному кадрі розгортки (окрім 2-х з N кадрів, використовуваних для регенерації пам'яті).

Недоліки усіх описаних вище пристроїв обробки полягають у відсутності корекції просторової неоднорідності чутливості. Для забезпечення такої корекції необхідна інформація про чистий рівень п'єдесталу. Крім того, використання мультиплексування АЦП небажане через втрату сигналу від кадрів, що використовуються для циклів регенерації пам'яті. Нами розроблено відеопроцесор, який використовує дворівневу ДОС обробку і дає змогу коректувати просторову неоднорідність чутливості. Особливостями такого вузла є використання лише одного низькорозрядного АЦП і рекурсивної фільтрації для виділення компоненти, спричиненої п'єдесталом.

Подальшою модифікацією цієї структури є введення в неї пам'яті п'єдесталу з метою використання інформації про його рівень і неоднорідність для корекції просторової неоднорідності чутливості за допомогою дворівневого різницевого кодування [4]. Диференційний підсилювач (рис. 6) здійснює різницеву обробку першого рівня: із сигналу $(P \pm S)$, що надходить на його вхід протягом T_f , віднімає деяке наближене значення P' п'єдесталу.

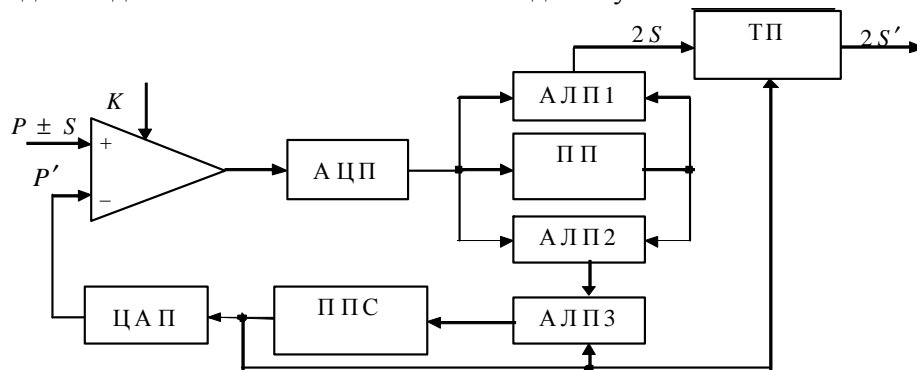


Рис. 6. Структура відеопроцесора ДОС сумарно-різницевої обробки з корекцією просторової неоднорідності п'єдесталу: ППС – пам'ять п'єдесталу, ТП – таблиця перегляду

Отримана різниця підсилюється в $K \approx P_{\max}/S_{\max}$ разів (за допомогою додаткових логічних схем K можна змінювати залежно від значення середніх рівнів P і S протягом T_m), оцифровується і запам'ятовується в ПП. Після зміни $U_{\text{обр}}$ АЛП1 віднімає з нього різницевий сигнал наступного поля, у якому піросигнал має протилежну полярність [5]:

$$|(P \pm S - P') - (P \mp S - P')| = 2S \quad (8)$$

Тим самим здійснюється різницєва обробка другого рівня, яка усуває залишкову помилку віднімання P' і робить вихідний сигнал уніполярним.

Водночас АЛП2 обчислює плинну похибку значення P' :

$$\frac{(P \pm S - P') + (P \mp S - P')}{2K} = P - P' \quad (9)$$

Обчислена поправка додається у АЛП3 до попереднього P' , зчитаного з ППС, і знову заноситься туди. Інформація з її виходу використовується для корекції вихідного сигналу відповідно до розподілу рівня п'єдесталу по кадру, що здійснюється залежно від змісту ТП, і для формування у ЦАП плинного P' :

$$P' = M \cdot U_K^j, \quad (10)$$

де U_K – інформація з пам'яті п'єдесталу в аналоговій формі; j – порядковий номер коригувального циклу; M – коефіцієнт різниці між опорними напругами ЦАП і АЦП.

Оскільки від кадру до кадру п'єдестал змінюється повільно і незначно, вихідний сигнал можна використовувати в кожному з кадрів [6].

СТІЙКІСТЬ РЕКУРСИВНОГО ФІЛЬТРА

Для розглянутої структури перехідна характеристика рекурсивного фільтра має такі вигляд і розв'язок:

$$U_K^{j+1} = U_K^j + P - M \cdot U_K^j, \quad (11)$$

$$U_K^{j+1} = (1 - M)^j \cdot (U_0 - P/M) + P/M, \quad (12)$$

де U_0 – початковий зміст ППС.

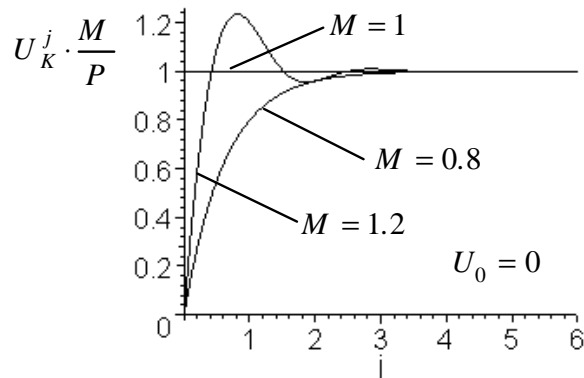


Рис. 7. Перехідна характеристика рекурсивного фільтра сумарно-різницевої обробки

Перехідна характеристика, розрахована відповідно до рівняння (12), зображена на рис. 7. Як видно з (12), фільтр стабільний, доки $0 < M < 2$. Коли ця умова виконується, вміст пам'яті п'єдесталу наближається до P/M за граничної умови $j \rightarrow \infty$, так що після перетворення у аналогову форму отримаємо наближення до п'єдесталу $P' \approx P$. Менший час перехідних процесів забезпечується для $M \approx 1$.

Висновки

Запропоновані структури відеопроцесорів ДОС сумарно-різницевої обробки піросигналу дозволяють збільшити еквівалентну розрядність вихідного сигналу, як мінімум, на 3–4 розряди і значно зменшити рівень геометричних шумів за цілком прийнятних апаратних витрат (зокрема, застосуванням лише одного малорозрядного АЦП). Їх застосування дасть змогу істотно покращити процедури пошуку, ідентифікації та відстежування об'єктів моніторингу.

1. Воронов С. Вибір режиму сканування для тепловізійної камери на базі піровідикона / С. Воронов, В. Гой, В. Гордійко, П. Кондратов // Наукові вісті НТУУ "Київський політехнічний інститут". – 2001. – № 3. – С. 91 – 100. 2. Боженко И. Расширение функциональных возможностей тепловизионной камеры для инфракрасной термографии морских объектов / И. Боженко, В. Гой, П. Кондратов. // Системы контроля окружающей среды. Сборник научных трудов НАНУ. – Севастополь: МГИ, 1999. – С. 130 – 132. 3. Пат. 47719А Україна, Н 04 N 5/33. Пристрій формування сигналу тепловізійного зображення / Гой В.М., Кондратов П.О., Шклярський В.І.; заявник і патентовласник Національний університет «Львівська політехніка». – № 2001085668; заявл. 09.08.01; опубл. 15.07.02. Бюл. № 7. 4. Bozhenko I. Research of Image Difference Processing Ways in Thermovision Camera Based on Pyrovidicon / I. Bozhenko, V. Bozhenko, O. Kondratov, P. Kondratov // Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application. – Lviv: State Univ. "Lvivska Polytechnika", 2007. – P. 181 – 183. 5. Кондратов Петро. Метод сумарно – різницевої обробки піросигналу у тепловізійній камері / Петро Кондратов, Віктор Ткаченко // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування: СПРТП-2009 2009 р. : матер. конф. – Вінниця, Україна, 2009. С. 72 – 73. 6. Пат. 47162 Україна, Н 04 N 5/33. Тепловізійна камера / Кондратов П.О.; заявник і патентовласник Національний університет «Львівська політехніка». – заявл. 25.01.10. Бюл. № 2.