

**Скрипець А.В.**, канд. техн. наук (НАУ)

**Краснов В.М.**, канд. техн. наук (НАУ)

**Мельніков Д.Є.**, (НАУ)

**Бойко В.І.**, (УДПТНДІ ЦА «Украеропроект»)

**Сагідаєв Ю.М.**, канд. техн. наук (УДПТНДІ ЦА «Украеропроект»)

## **ПОБУДОВА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОБІЛЬНОГО АВТОМАТИЧНОГО ВИМІРЮВАЧА ПОХИЛІВ**

**Анотація.** Розроблено малогабаритний пристрій на сучасній елементній базі, яка використовується для акселерометрів та гіроскопів з метою вимірювання похилів покриття.

**Ключові слова:** аеропорт, аеродром, злітно-посадкова смуга, похил.

**Аннотация.** Разработан малогабаритный устройство на современной элементной базе, которая используется для акселерометров и гироскопов с целью измерения уклонов покрытия.

**Ключевые слова:** аеропорт, аеродром, взлетно-посадочная полоса, уклон.

**Annotation.** A compact device for modern base used for accelerometers and gyroscopes to measure an inclined surface.

**Key words:** airport, airport, runway, gradient

### **Постановка проблеми**

При будівництві ключового елемента аеропорту — злітно-посадкової смуги (ЗПС) — важливе значення має дотримання норм її проектування за кутами нахилу в поперечній і поздовжній площинах.

Так, згідно з вимогами будівельних норм і правил [1] поздовжній ухил ділянки штучної ЗПС повинен бути не більше 0,008, тобто не більше 28 кутових мінут. При цьому довжина кінцевих ділянок ЗПС (в даному випадку початкова ділянка) повинна дорівнювати 1/6 довжини ЗПС, тобто 416 м при довжині ЗПС рівній 2500 метрів, що має місце в «Міжнародному аеропорту

«Харків». На цій ділянці поздовжній ухил повинен бути одного напрямку (або висхідний, або низхідний).

Поперечний ухил для надійного стікання дощових і талих вод з поверхні штучної ЗПС повинен бути більше 0,015, тобто більше 52' (кутових мінут).

В даний час поздовжні і поперечні ухили ЗПС в геодезичній практиці вимірюються за допомогою далекоміра, нівеліра, вимірювальної рейки і рулетки з наступним визначенням ухилів розрахунковим шляхом. При довжині ЗПС від 2,5 до 4-х кілометрів крок вимірювань вибирається порядку 60 м, тобто в цьому проміжку, що дорівнює 8 плитам (розмір плити  $7,5 \times 7,5 \text{ м}^2$ ), не контролюються ні ухили, ні нерівності кожної плити.

Величина ухилу між двома точками розраховується так:

$$\alpha = h/D, \quad (1)$$

де  $h$  – перевищення, яке визначається за допомогою нівеліра і рейки, яка встановлюється у точках вимірювання ухилів;

$D$  – горизонтальне положення, яке обчислюється за виміряними перевищенням  $h$  і відстанню  $S$  між точками, виміряною рулеткою:

$$D = h^2/2S. \quad (2)$$

Вимірювання нерівностей геодезичними методами здійснювати важко. Нерівності вимірюють триметровою лінійкою за кожною плитою ЗПС шляхом вимірювання зазорів під лінійкою через кожні 10 см.

Таким чином, вимірювання ухилів і нерівностей є дуже трудомістким процесом, що вимагає великого відшкодування часу.

Інформаційний та патентний пошуки показують, що в цьому напрямку ведуться інтенсивні розробки пристроїв, які б дозволили механізувати і частково автоматизувати процес вимірювання ухилів.

До механічних пристроїв, які вимірюють ухили, можна віднести «ватерпас» [2], що включає до себе вимірювальну рейку та вертикальну вішку, на яких нанесені сантиметрові поділки, причому на вимірювальній рейці встановлений рівень з можливістю переміщення у вертикальному напрямку і відліковий пристрій для приведення рейки в горизонтальне положення. Для

вимірювання ухилів ЗПС та відкосів вимірювальна рейка встановлюється вздовж напрямку вимірюваного ухилу на опори (п'ятки), розміщені на її кінцях, а бульбашка рівня приводиться механічно в горизонтальне положення його поворотним механізмом. При цьому відбувається розворот відлікового барабана відносно відлікового індексу і таким чином визначається величина вимірюваного ухилу.

До частково автоматичних пристроїв, що вимірюють ухили, можна віднести пристрої, розглянуті в патентах Росії [3, 4, 5]. Це пристрої, які або містять панель з підвішеним на ній маятником і шкалу, закріплену на панелі, або містять інерційну масу у вигляді сталеві кулі, яка знаходиться на гладкій основі, та фіксованої з боків майже вертикальними попередньо напруженими видолинками, на які наклеєні тензодатчики опору, або містять плоску вимірювальну поверхню, на якій розташований чутливий до її орієнтації елемент у вигляді датчика лінійних прискорень, електронну схему перетворення сигналу і засоби індикації на рідкому кристалі.

Їх загальним недоліком є мала надійність і недостатня оперативність вимірювання у зв'язку з неможливістю за одне встановлення визначити величину і напрям максимального кута нахилу досліджуваного об'єкта.

Відома також одновісна колісна транспортна платформа – вимірювач ухилів ОКТП-ВУ аеродромних покриттів, що є робототехнічною системою, яка теоретично розроблена в Московському авіаційному університеті. Подібні системи розробляються в Московському державному університеті ім. М.В. Ломоносова, в США, Японії і Канаді для завдань транспортування, охоронних і військових цілей [6].

В даний момент часу у різних країнах ведуться розробки пристроїв, які дозволяють частково механізувати процедуру вимірювання ухилів за допомогою механічних пристосувань, або автоматично вимірювати напрям та величину ухилу за однією координатою шляхом використання досягнень новітніх технологій. Мобільних пристроїв для автоматичного вимірювання ухилів та нерівностей як злітно-посадкових смуг, так і дорожніх покриттів одночасно за двома координатами в практичному дорожньому та аеродромному будівництвах, а також в експлуатаційних підрозділах аеропортів України не існує.

## Основна частина

Авторами пропонується використовувати для вищезазначених цілей сучасні акселерометри і гіроскопи.

Вони є основними датчиками інерціальних навігаційних систем (ІНС), які надають інформацію про рух під дією активних сил. Застосовуються акселерометри, різноманітні як за принципом дії, так і за конструктивним виконанням. Зазвичай, використовуються акселерометри, які вимірюють лише одну складову прискорення уздовж осі обраної системи координат.

Обов'язковим елементом акселерометра є чутлива маса – деяке фізичне тіло, яке має певну масу. Цей елемент називається: тягарик, якір, інерційна маса, чутливий елемент тощо. Чутлива маса акселерометра, зазвичай, має правильну геометричну форму, наприклад форму циліндра, і пружно зв'язана за допомогою механічних пружин або «електричної пружини» компенсаційного типу з корпусом пристрою.

Залежно від характеру переміщення чутливого елемента відносно корпусу пристрою розрізняють акселерометри з лінійним переміщенням чутливого елемента відносно корпусу – це осьові акселерометри, і акселерометри з кутовим переміщенням чутливого елемента відносно корпусу – маятникові акселерометри [2].

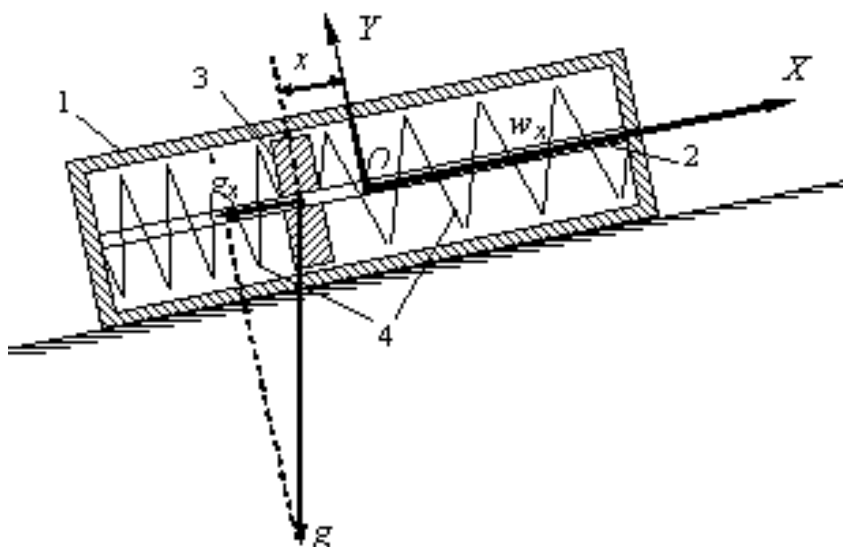
За способом підвісу чутливого елемента відносно корпусу пристрою є багато конструктивних рішень, наприклад, акселерометри з механічним підвісом чутливого елемента на жорсткій опорі (на підшипниках, призмах, роликах тощо); з гнучким підвісом (на торсіонах); з гідростатичним або гідродинамічним підвісом чутливого елемента (поплавкові). Можливі також магнітні, електростатичні, кріогенні, а також комбіновані підвіси. В інерціальних системах, зазвичай, застосовують прецизійні поплавкові осьові та маятникові акселерометри з «електричною пружиною» компенсаційного типу.

З метою зручності сполучення акселерометра з цифровим обчислювачем сигнал на його виході повинен бути дискретним. Перетворення вихідного сигналу в дискретний може бути виконано або за допомогою спеціальних перетворювачів типу АЦП — аналого-цифрових перетворювачів, або безпосередньо за допомогою пристроїв, що вимірюють переміщення чутливої маси. За цією ознакою як осьові, так і маятникові акселерометри класифікуються як аналогові, аналогові з дискретними приставками та

дискретні. До дискретних акселерометрів належать струнні, імпульсно-інерціальні й електронно-пучкові акселерометри.

Вихідний сигнал акселерометра несе в собі інформацію про силу взаємодії чутливого елемента акселерометра і його корпусу в напрямку відповідної осі – осі чутливості пристрою.

На рис. 1 показана кінематична схема однокомпонентного осьового акселерометра.



**Рисунок 1** – Кінематична схема однокомпонентного осьового акселерометра

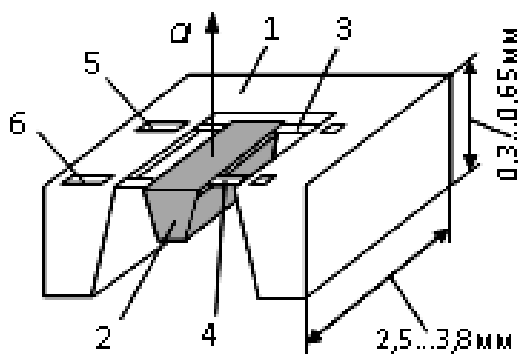
У корпусі 1 по напрямній 2 може переміщуватися чутливий елемент 3, який зв'язаний з корпусом за допомогою пружини 4. Корпус пристрою заповнюють рідиною, яка забезпечує демпфірування коливань чутливого елемента відносно корпусу.

У високоточних акселерометрах замість механічних пружин, які не в змозі забезпечити у великому діапазоні високу точність вимірювання прискорень, широке розповсюдження знайшли «електричні пружини», які реалізують замкнені контури компенсаційного зворотного зв'язку. Але більш широке застосування в інерціальних системах знайшли маятникові акселерометри з «електричною пружиною» і гідравлічним підвісом інерційної маси [7].

Описані вище компенсаційні схеми побудови пристроїв знаходять застосування в прецизійних високоточних акселерометрах. Але, окрім них все більшого поширення набуває застосування досить грубих, але мініатюрних датчиків первинної інформації. Достоїнство таких систем, насамперед, у їх надзвичайно малих розмірах, масі, енергоспоживанні.

Серед мікромеханічних датчиків особливо слід відзначити датчики, які виготовлені з використанням *MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)* - технологій. *MEMS* – фотолітографічна технологія, яка дозволяє виготовляти кремнієві мікросхеми з мініатюрними механічними елементами. Вона є перспективним напрямком розвитку мікроелектроніки, оскільки з її допомогою вдається побороти обмеження, які довгий час були перешкодою з мікромініатюризації деяких компонентів, які утримують механічні деталі.

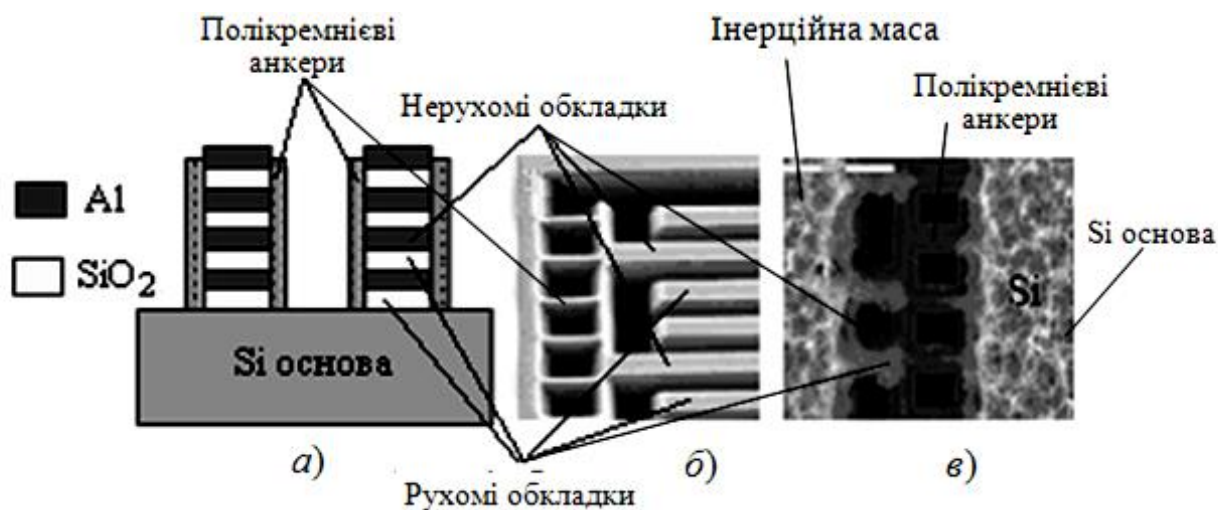
Прикладом таких датчиків може бути акселерометр об'ємної конструкції. Цей датчик (рис. 2) складається з кремнієвої рамки 1 і інерційної маси 2. Двома тонкими торсіонами 3 і 4 інерційна маса з'єднана з кремнієвою рамкою. Ця маса з'єднується з одного краю кремнієвої рамки механічно, а з іншого краю через пару імпантованих п'єзореzystорів 5 і 6, які створюють напівміст. Два напівмости з'єднуються в мостову схему. При впливі прискорення  $a$  (див. рис. 2) інерційна маса переміщується, згинаючи торсіони та викликаючи деформацію п'єзореzystорів. Таким чином, датчик і розташована поза кристалом електронна схема обробки сигналів через деформацію п'єзореzystорів, включених за схемою моста Уїтстона, створюють при впливі прискорення вихідний сигнал, який надходить до споживачів, зокрема в схему безплатформної ІНС.



**Рисунок 2** – Акселерометр об'ємної конструкції

Компанія *Analog Devices* виготовляє сім'ю акселерометрів *ADXL* поверхневої конструкції, виконаних на полікристалічному кремнії. Увесь кристал акселерометра розміром 3,05×3,05 мм зайнятий головним чином схемами формування сигналу, які оточують мініатюрний датчик прискорення розміром 1×1 мм, розташований у його центрі. Датчики виготовляються методом поверхневої обробки, яка передбачає осадження тонких плівок

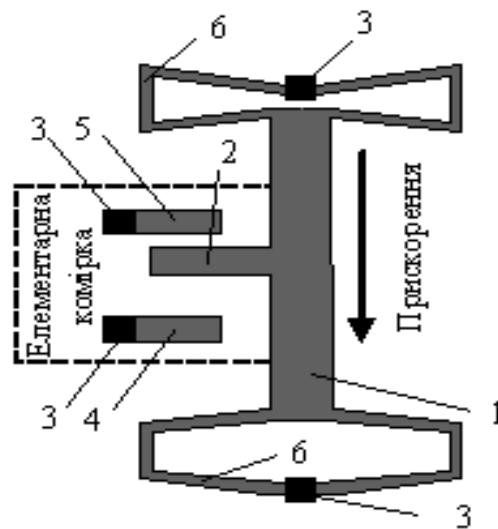
певного матеріалу на основу кристала з наступним витравленням необхідної конструкції рухомої діафрагми. Нижче наведені схема (рис. 3, а), конструкція (рис. 3, б) і багаторазово збільшені елементи кристала акселерометра (рис. 3, в).



**Рисунок 3** – Кристал акселерометра

Датчик вихідних сигналів акселерометра являє собою диференціальну конденсаторну структуру з повітряним діелектриком, обкладки якого витравлені із плоского елемента полікремнієвої плівки товщиною 2 мкм. Нерухомі обкладки цього конденсатора – це прості алюмінієві консольні стрижні, що розташовані на висоті 1 мкм від поверхні кристала в повітрі на полікремнієвих стовпчиках-анкерах, приварених до кристала на молекулярному рівні. Рухомі обкладки конденсатора утворюються пальцеподібними виступами інерційної маси.

На рис. 4 показаний конструктивний блок елементарної ємнісної комірки датчика. Фактично датчик має 54 елементарні комірки для вимірювання прискорення, але для простоти на рисунку показано тільки одну комірку. Інерційна маса 1 датчика прискорення при зміні швидкості переміщення кристала зміщується відносно основної частини кристала. Її пальцеподібні виступи 2 утворюють рухому обкладку конденсатора. З кожного кінця ця структура змінної ємності спирається на стовпчики-анкери 3, які аналогічні за конструкцією тримачам нерухомих обкладок 4 і 5. Розтяжки 6 по кінцях інерційної маси, що утримують її у висячому положенні, є як би механічними пружинами сталої пружності, які обмежують переміщення інерційної маси та забезпечують її повернення у вихідне положення.



**Рисунок 4** – Елементарна ємнісна комірка датчика

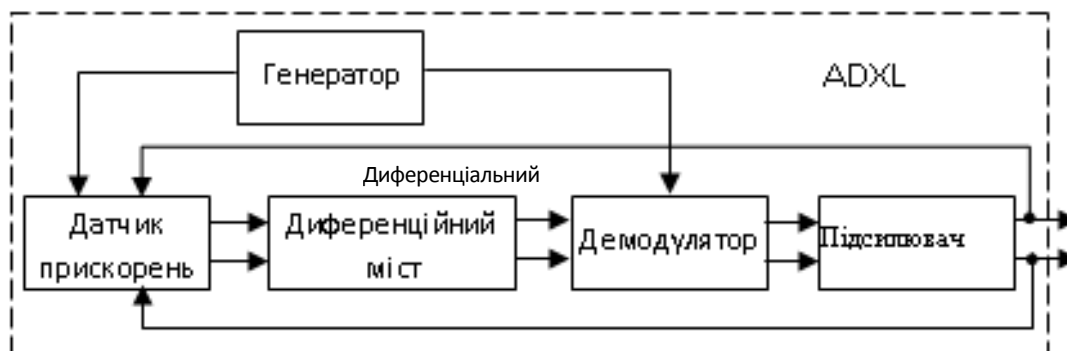
Оскільки переміщення інерційної маси повинно відбуватися в площині полікремнієвої плівки, то вісь чутливості датчика лежить у цій площині і вона паралельна площині друкованої плати, до якої припаюється датчик.

Кожен з наборів (54 набори) нерухомих обкладок конденсатора електрично з'єднаний паралельно усередині схемного кристала. В результаті створюється пара незалежних конденсаторів, рухома обкладка яких утворена всією сукупністю пальцеподібних виступів інерційної маси. Усередині кристала ці три обкладки підключені до вбудованих схем формування сигналу акселерометра. У спокійному стані (рух зі сталою швидкістю) усі «пальці» рухомої обкладки завдяки розтяжкам знаходяться на однаковій відстані від пар пальців нерухомих обкладок. При будь-якому прискоренні рухомі пальці наближаються до одного з наборів нерухомих пальців і віддаляються від іншого набору. В результаті цього відносного переміщення відповідні відстані стають неоднаковими і ємності між рухомою обкладкою і кожною з нерухомих обкладок змінюються, тобто змінна ємність є вихідним сигналом мініатюрного датчика прискорення. Оточуючі датчик мікросхеми формують вихідний сигнал акселерометра за схемою, що наведена на рис. 5.

Датчик акселерометра і схема формування сигналу являють собою замкнутий контур зі зворотним зв'язком для зрівноважування сил. Протифазні сигнали прямокутної форми частотою 1 МГц однакової амплітуди надходять від генератора відповідно на верхню і нижню нерухомі обкладки конденсатора датчика. Ємності між нерухомими і рухомими обкладками при відсутності прискорення однакові, тому сигнал з диференціального моста, у плечі якого



включені конденсатори датчика, дорівнює нулю. При дії прискорення змінюються ємності конденсаторів датчика і на виході диференціального моста з'являється сигнал, причому його амплітуда залежить від величини зміщення рухомої обкладки, тобто від різниці ємностей конденсаторів датчика, а фаза визначається знаком прискорення.



**Рисунок 5** – Формування вихідного сигналу акселерометра

Фазочутливий демодулятор перетворює цей сигнал у низькочастотний (частотою від 0 до 1000 Гц), який характеризує величину і знак прискорення. Далі сигнал у вигляді напруги надходить на підсилювач, а з його виходу — на зовнішній вивід *ADXL*.

Щоб зменшити вплив температури навколишнього середовища, тимчасові зміни параметрів, знизити нелінійність перехідної характеристики акселерометра, розробники ввели негативний зворотний зв'язок за положенням інерційної маси. Для цього напруга з виходу підсилювача подається на рухомі обкладки датчика, створюючи електростатичні сили між рухомими і нерухомими обкладками, які прагнуть установити інерційну масу у вихідне положення. Оскільки в цьому випадку система стеження має високу надійність, інерційна маса ніколи не буде відхилятися від свого вихідного положення більш, ніж на 0,01 мкм.

До числа таких малогабаритних *MEMS*-датчиків слід віднести цифрові нанометрові кремнієві акселерометри, конструкція яких аналогічна вищенаведеним, і які вже використовуються як основні датчики прискорень, наприклад, у безплатформній курсовертикалі БКВ-95.

Цифровий кремнієвий датчик має дві основні складові: компактний акселерометр з маленькою інертною масою, підвішеною на мініатюрних

пружинах, який виготовлений за *MEMS*-технологією, і спеціальну керувальну мікросхему.

Три ортогональні компоненти створюють ядро цифрового тривісного датчика перевантаження.

Крім розглянутих варіантів, у даний час виготовляються мікромеханічні п'єзоплівкові акселерометри низької точності, п'єзоелектричні акселерометри підвищеної точності, а також інші менш розповсюджені конструкції.

Уперше в практиці геодезичного приладобудування розроблено двокоординатний мобільний автоматичний вимірювач ухилів, діючий макетний зразок якого [10] пройшов експериментальну апробацію при вимірюванні поздовжніх і поперечних ухилів, а також нерівностей на нещодавно побудованій штучній злітно-посадковій смузі в «Міжнародному аеропорту «Харків».

Пристрій розміщується на рухомій платформі, яка може бути виконана за двома варіантами. Перший варіант виконано на триколісній платформі з ручним приводом. Другий варіант може бути виконаний на гусеничному шасі з незалежним приводом на кожен гусеницю, він керується дистанційно по радіоканалу і фактично є робототехнічною системою.

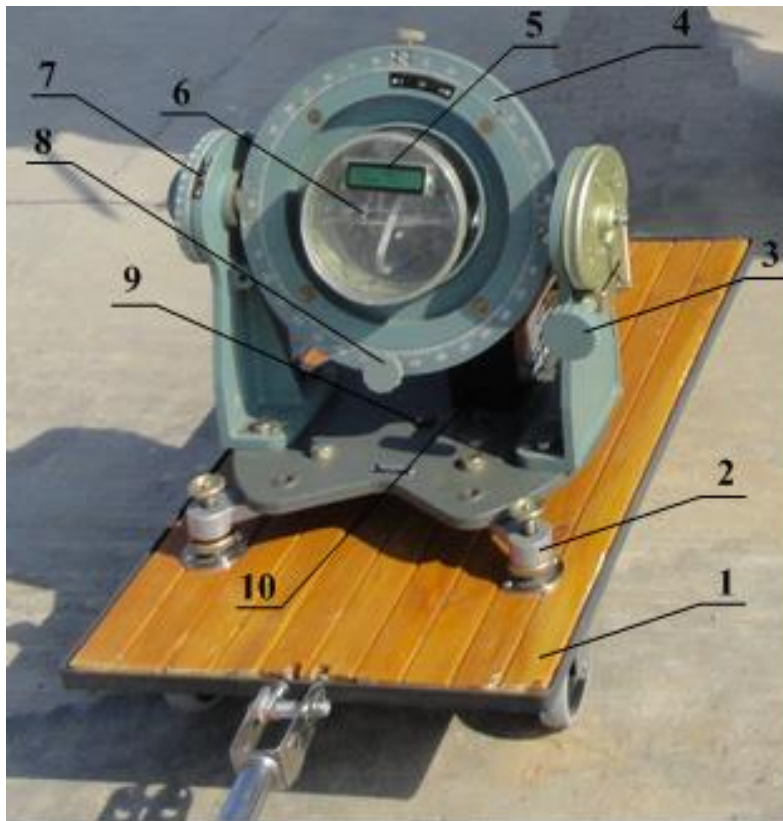
В діючому макеті використовується триколісна платформа, на якій встановлено спеціальний двовісний рухомий кронштейн. Платформа і кронштейн горизонтуються в двох площинах. Рухомий кронштейн виконує функцію калібрувального пристрою, за допомогою якого виставляються нульові значення у вихідній точці вимірювання. Зовнішній вигляд макету зображено на рис. 6.

В центрі кронштейна розміщена мікрогіроскопічна система з трикоординатним гіроскопом і акселерометрами. Інформація з мікроконтролера відображається на рідкокристалічному дисплеї у вигляді значень кутових мінут і градусів одночасно для поздовжнього і поперечного ухилів відносно основи платформи.

Кутові розузгодження визначаються за допомогою оригінального програмного забезпечення в мікроконтролері.

Діапазон вимірювання ухилів за кожною координатою —  $\pm 45^\circ$  (кутових градусів). Ціна молодшого розряду —  $\pm 3$  (кутові мінути).

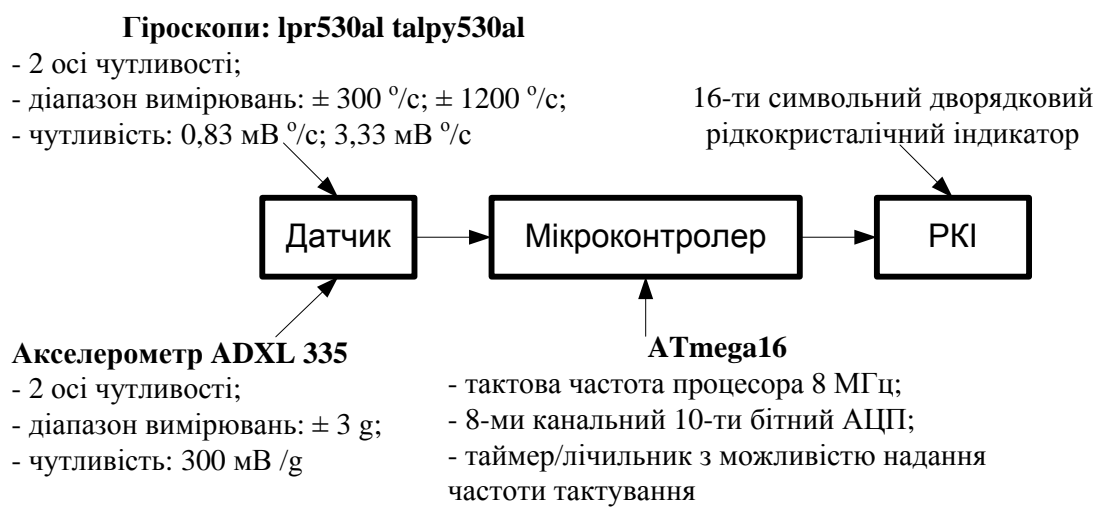
Габарити мобільного автоматичного вимірювача ухилів ВУ-01 — 710x420x600 мм. Маса вимірювача — 12 кг.



1 – основа, 2 – регульована опора, 3 – маховик по тангажу, 4 – лімб, 5 – LCD-індикатор, 6 – MEMS-датчики, 7 – лімб, 8 – маховик по крену, 9 – двокоординатний датчик горизонту, 10 – акумулятор

**Рисунок 6** – Конструкція вимірювального модуля

Структурна схема пристрою наведена на рис. 7.



**Рисунок 7** – Структурна схема пристрою

Пристрій вимірює поздовжній та поперечний кути ухилу (крону і тангажа) за допомогою мікроелектромеханічних датчиків – акселерометра та гіроскопа. Ці датчики при застосуванні певних алгоритмів фільтрації при обробці інформації від них забезпечують достатню точність в визначенні кутів [9].

Працездатність вимірювача ВУ-01 було апробовано в процесі вимірювання поздовжніх і поперечних ухилів на окремих фрагментах щойно збудованої ЗПС довжиною 2,5 км та шириною 45 м в «Міжнародному аеропорту «Харків».

Експериментально досліджувалися наступні фрагменти ЗПС:

–початкова ділянка ЗПС довжиною 660 м з метою визначення величини та знака поздовжнього ухилу з одного боку відносно осі ЗПС,

–нерівності плити, які були виявлені при вимірюванні традиційним методом (триметровою лінійкою з кроком вимірювання 10 см).

Дослідження проводилися одночасно з вимірюванням традиційними геодезичними методами шляхом нівелювання поверхні ЗПС. Крок нівелювання дорівнював 60 м, а за допомогою вимірювача ВУ-01 вимірювалися ухили кожної плити з кроком 7,5 м.

### **Дослідження поздовжнього похилу ЗПС**

Дослідження вимірювачем ВУ-01 виконувалися наступним чином. У вихідній (нульовій) точці початкової ділянки ЗПС проведено горизонтування вимірювача, після чого проведено переміщення платформи вздовж першої плити не дійшовши одного метра до її стику з другою плитою, де були зняті перші вимірювання. Далі вимірювання проводилися на наступних плитах в аналогічних точках. Кожному вимірюванню передувала зупинка не більше 10 секунд для фіксації декількох результатів.

Таким чином, був пройдений шлях довжиною 660 м в одному напрямі по кожній плиті, а потім назад з розворотом вимірювача та вимірюваннями в тих же самих точках.

Результати вимірювання наведені на рис. 8, де пунктиром позначена межа  $\pm 28'$  (кутових мінут), а позначками  $\Delta$  — значення ухилів при переміщенні «вперед» і  $\square$  — при переміщенні «назад».

Зв'язок між дискретними значеннями ухилів по плитах виконано за методом лінійної апроксимації.

З наведених графіків видно, що поздовжній ухил на відстані 660 м не перевищує 0,08, тобто 28'(кутових мінут), а поздовжній ухил на початковій ділянці ЗПС в межах 416 м має в своїй більшості один напрям.

### **Дослідження ремонтного фрагмента ЗПС**

Традиційно нерівності плит вимірюються лінійкою довжиною 3 м, під якою через 10 см вимірюють зазори. При зазорах більше 0,5 см ця ділянка плити вирізається і знову бетонується. Ремонтна ділянка дорівнювала площі 30 м<sup>2</sup> (6×5 м). Провести нівелювання на такій ділянці можна, але досить трудомістко.

Ремонтний фрагмент мав інтерес для вимірювання нерівномірностей ухилів за двома координатами. Пристрій ВУ-01 переміщувався всередині прямокутника на відстані 1 м від кожного краю фрагмента (рис. 9).

На рис. 10 наведені результати вимірювань поперечних, а на рис. 11 — поздовжніх ухилів ремонтного фрагмента. Графіки виконані методом лінійної апроксимації.

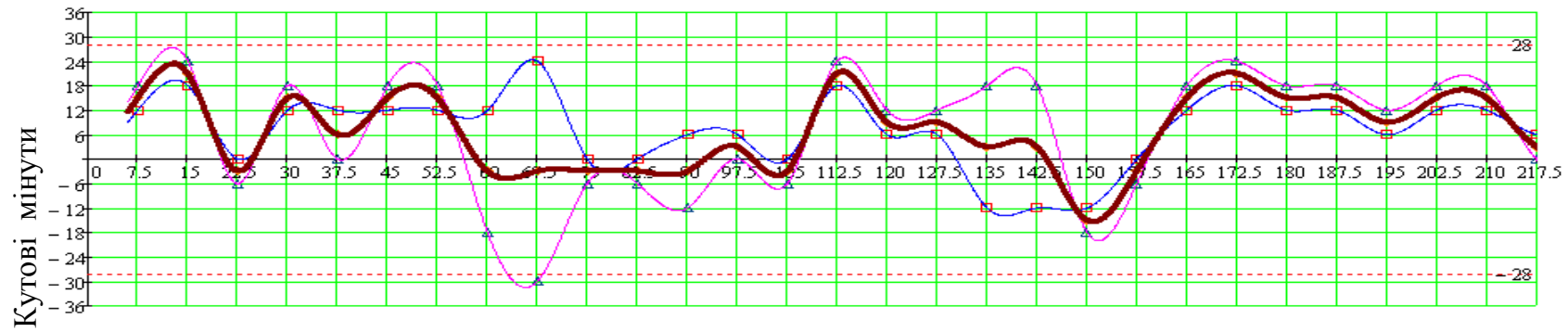
Вимірювання проводилися переміщенням модуля за стрілкою годинника. В кутах прямокутника модуль розвертався на дев'яносто градусів.

### **Результати вимірювань**

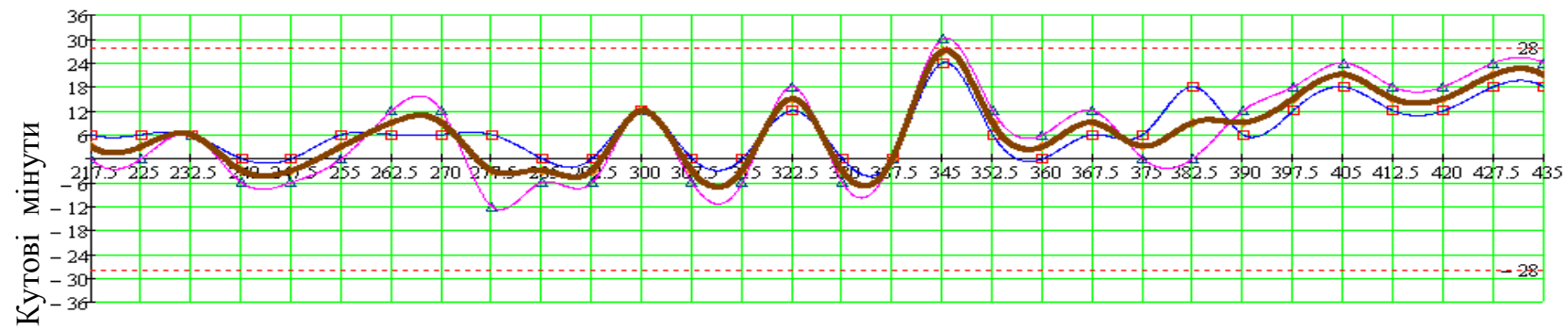
Поздовжні ухили ремонтного фрагмента не перевищують 0,008, тобто 28' (кутових мінут), та відповідають вимогам СНіП.

Поперечні ухили виконані більше 0,015, тобто 52' (кутових мінут), та знаходяться в діапазоні 1,2–0,75° (кутових градусів).

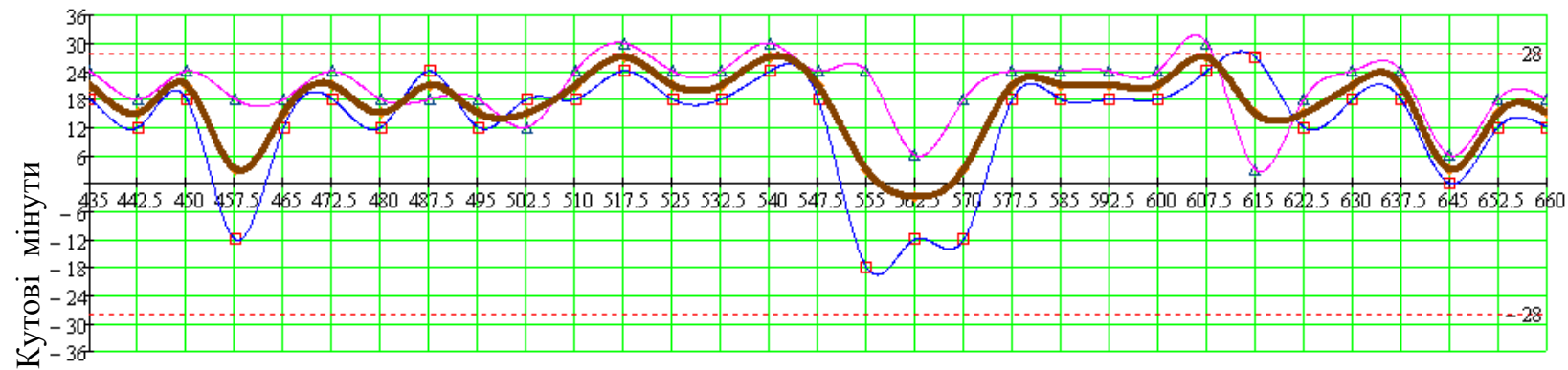
При вимірюванні зліва виявлена одна точка 0,75° (кутових градусів), яка на 6' (кутових мінут) менша допуску.



а)



б)



в)

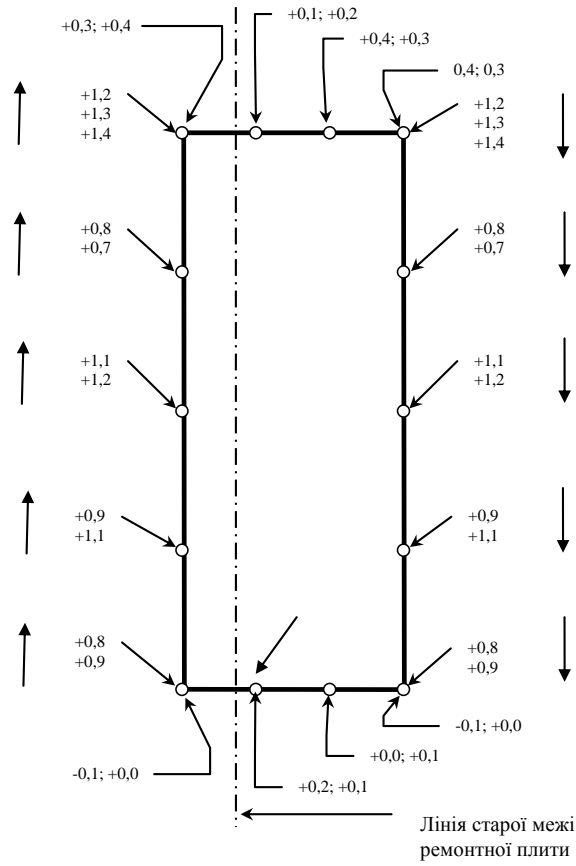
а) на ділянці від 0 до 217 м; б) на ділянці від 217 м до 435 м; в) на ділянці від 435 м до 660 м

**Рисунок 8 – Результати вимірювання**

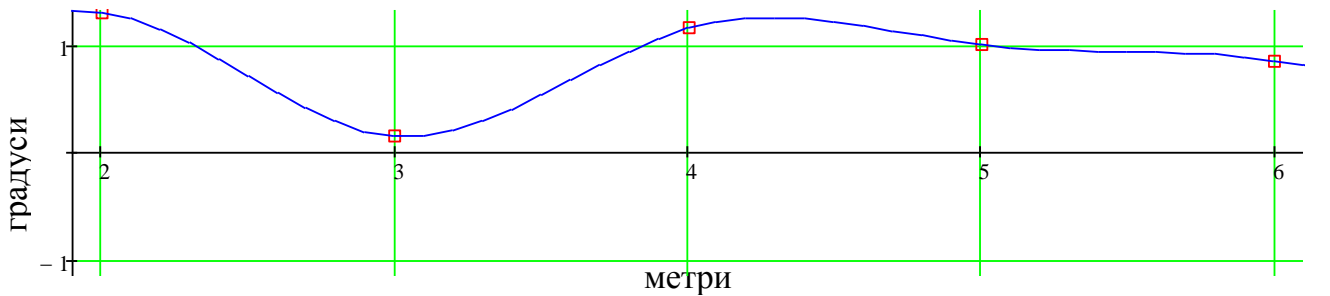
метри

метри

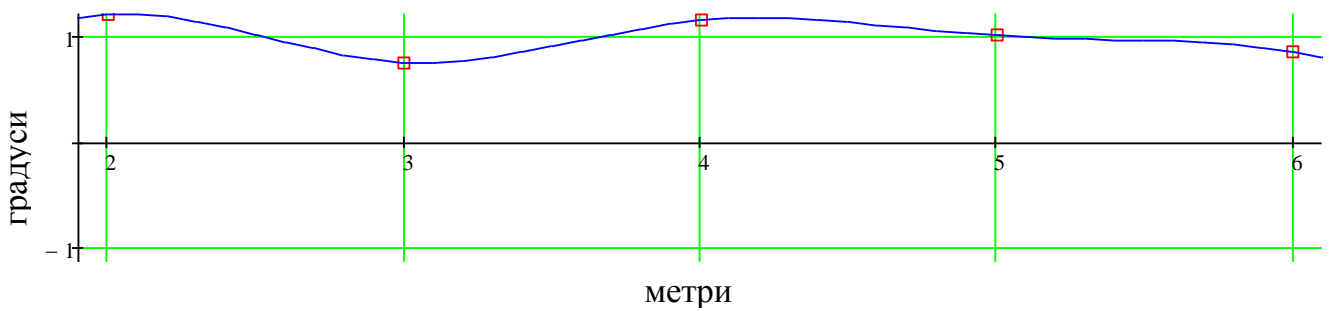
метри



**Рисунок 9** – Схема дослідження ремонтного фрагмента ЗПС

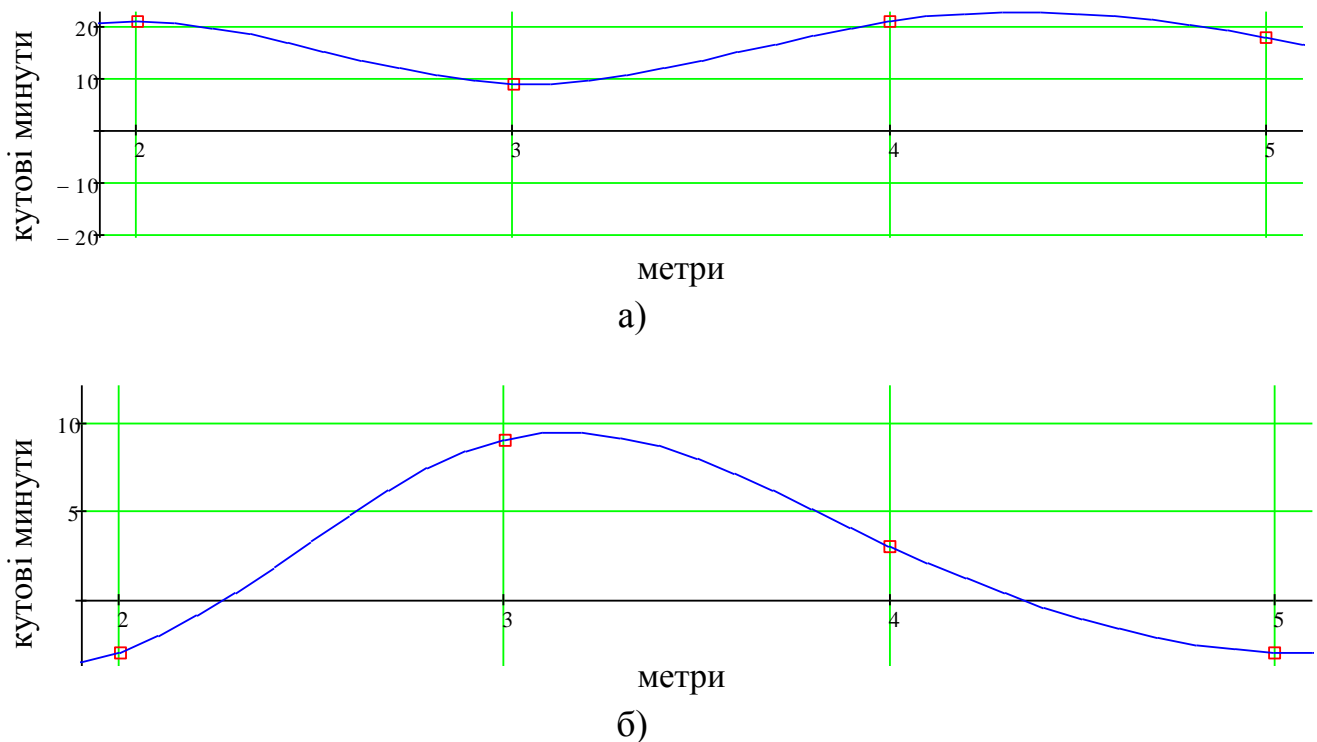


а)



б)

**Рисунок 10** – Результати вимірювань поперечних ухилів: а) – права сторона; б) – ліва сторона



**Рисунок 11** – Результати вимірювань поздовжніх ухилів: а) – верх; б) – низ

### Висновки

1. Розроблено малогабаритний пристрій на сучасній елементній базі, яка використовується для акселерометрів та гіроскопів.
2. Обробка інформації з виходу пристрою за допомогою мікроконтролера та оригінального програмного забезпечення дозволила отримати інформацію одночасно за двома координатами в діапазоні  $\pm 45^\circ$  (кутових градусів) з ціною молодшого розряду  $\pm 3'$  (кутові мінуты).
3. Проведені дослідження фрагментів ЗПС в «Міжнародному аеропорту «Харків» показали, що за допомогою пристрою ВУ-01 можна оперативно та достовірно проводити вимірювання ухилів і нерівностей як кожної плити, так і окремих її фрагментів без використання геодезичних приладів та лінійки, що значно зменшує трудомісткість вимірювань.
4. Експериментальні дослідження також показали, що початкова ділянка нової ЗПС в «Міжнародному аеропорту «Харків» виконана в межах допуску, тобто з ухилом не більше  $0,008$  ( $28'$ ) і має практично один знак ухилу, але кожна плита має невеликі кутові відхилення одна від одної. Дослідженнями також визначено декілька нерівностей на окремих плитах в діапазоні  $0-28'$  (кутових мінут).



5. Розроблена макетна конструкція пристрою показала, що на основі макету можливо розробляти конструкторську документацію мобільного двокоординатного вимірювача ухилів для виготовлення дослідної партії пристроїв, які можна використовувати як для дослідження якості ЗПС, так і сучасних дорожніх покриттів, залізничних колій, тунелів, гірських виробок, стічних колекторів тощо.

6. Проведені також певні дослідження з розробки малогабаритного мобільного вимірювача-робота, який може сам за програмою або по каналу радіокерування виконувати вимірювання в тих місцях, де людині-оператору важко або зовсім неможливо пересуватися.

### Література

1. СНиП 2.05.08.85. Аэродромы /Госстрой СССР. – М.:ЦИТП Госстроя СССР,1985. – 59 с.
2. Патент України №22079 А МПК G 01 В 3/02, G 01 С 9/00, 2006.
3. Патент РФ № 2142613, МКИ G 01 С 9/00, 1998.
4. Авт. свид. СССР № 187324, МКИ G 01 С 9/16, 1966.
5. Свидетельство РФ на полезную модель № 12607, МКИ G 01 З 9 / 06, 20.01.2000.
6. Щилова М.А., Черноморский А.И. Одноосная колесная платформа-измеритель уклонов аэродромных покрытий. Проектно-конструкторские и производственные вопросы создания перспективной авиационной техники / Под ред. проф. Ю.Ю. Комарова. – М.: Изд-во МАИ, 2009. – 424 с.
7. Філяшкін М. К., Рогожин В. О., Скрипечь А. В., Лукінова Т. І. Інерціально-супутникові навігаційні системи: навч. посіб. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 272 с.
8. Мельніков Д. Є., Кіреєв М. Е., Смолич Д. В. Пристрій для визначення кутового положення літака в просторі на основі MEMS-акселерометра та гіроскопа. – Наука і молодь. Прикладна серія: збірник наукових праць/ МОН; Національний авіаційний університет. —К.: 2010. – Вип. 10. – С. 27-30.
9. Мельніков Д. Є., Кіреєв М. Е., Смолич Д. В., Волков О. Є., Волошенюк Д. О., Самокіша Т. В., Черноус Т. М. Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір № 38841 – Комп'ютерна програма «Комплексування інформації, отриманої від MEMS - акселерометрів та гіроскопів для визначення кутового положення літака в просторі на основі оптимального рекурсивного фільтра Калмана». – 2011.
10. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка діючого модуля для визначення поздовжніх та поперечних ухилів та рівності поверхні аеродромних покриттів. Проведення замірів ухилів та рівності на новій злітно-посадковій смугі в міжнародному аеропорті «Харків» (Основа)» (Договір про створення (передачу) науково-технічної продукції між Українським державним проектно-технологічним, науково-дослідним інститутом цивільної авіації «Украеропроект» і Національним авіаційним університетом від 23.06.2011 р. № 753-ХІІ).