

ПРИЛАДИ

УДК 62.408

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.3.2/10>**Гайдай Г.Ю.**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
<https://orcid.org/0000-0002-7454-8007>**Грешнов А.Ю.**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
<https://orcid.org/0000-0002-9350-1554>

АВТОМАТИЗОВАНА МОБІЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ТОЧНОСТІ ПОВІРОЧНИХ ПЛИТ

Підвищення рівня метрологічного забезпечення плит повірочних та розмірочних обумовлено їхнім місцем в забезпеченні якості продукції, оскільки на них проводиться розмітка перед виготовленням та остаточний контроль деталей після виготовлення. Поставлена проблема і дала поштовх до розробки удосконаленої мобільної установки для визначення відхилення від площини повірочних та розмірочних плит. У роботі представлено удосконалену мобільну установку для визначення відхилення від площини повірочних і розмірочних плит, а також систему її метрологічного забезпечення та протокольного підтвердження результатів вимірювань. Проведено аналіз існуючих методів контролю відхилення від площини, обґрунтовано вибір технічних засобів і структурних рішень. Розроблено структурну та функціональну схеми. Отримані результати забезпечують підвищення точності, надійності та зручності виконання вимірювань у лабораторних і виробничих умовах. На основі проведеного аналізу з'явилася нагальна потреба в створенні автоматизованої установки отримання показань та обробки результатів вимірювань із застосуванням сучасних електронних вимірювальних приладів, пов'язаних з ЕОМ, на базі чого було розроблено автоматизовану мобільну установку для перевірки геометричної точності повірочних плит, що дозволила підвищити точність та надійність отриманих даних. У якості конструктивного рішення було знайдено електронний рівень, визначено ряд переваг перед іншими приладами, підібрано та описано елементи, які необхідні для безпосереднього сполучення перетворювача з ЕОМ. Об'єктом дослідження даної установки є повірочна та розмірочна плита. За допомогою рівня брускового та у відповідності до методики повірки, повірочна та розмірочна плита виставляється в горизонтальне положення. В перетворювач входить чутливий елемент – маятник, який контролюється індуктивним датчиком. В електронний блок надходять сигнали з перетворювача та реєстратора температури. Далі оброблений сигнал поступає на ЕОМ.

Ключові слова: повірочна плита, розмірочна плита, електронний рівень, автоматичне регулювання, метрологічне забезпечення.

Постановка проблеми. У сучасному світі велике значення в економічній діяльності підприємства має конкурентоспроможність продукції, що виробляється. Це переважно полягає в якості продукції.

При формуванні якості продукції на машинобудівному підприємстві вимірювальна інформація про геометричні розміри, форми та розміщення поверхонь повинна буди істиною. Тобто для цього необхідно застосовувати засоби вимірювальної

техніки, що мають достатні метрологічні характеристики, надійність та продуктивність контролю з врахуванням рівня розвитку науково технічного прогресу. Таким чином, підвищення рівня метрологічного забезпечення плит повірочних та розмірочних обумовлено їхнім місцем в забезпеченні якості продукції, оскільки на них проводиться розмітка перед виготовленням та остаточний контроль деталей після виготовлення. Поставлена проблема і дала поштовх до розробки удосконаленої



мобільної установки для визначення відхилення від площини повірочних та розмірочних плит.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час відхилення від площини робочих поверхонь плит визначають за допомогою таких засобів вимірювання, як: автоколіматор, оптична лінійка, бульбашковий рівень, мікронівелір [1]. Існує безліч різних методик визначення відхилення від площини плит [2]:

1. *Методика вимірювання відхилення від площинності автоколіматором:* плоске дзеркало, що входить в комплект автоколіматора, закріплюють на вимірювальній каретці, відстань між опорами якої встановлюють рівним відстані між точками, що перевіряються. При перевірці плит розміром від 400×400 до 1000×630 мм в якості вимірювальної каретки можна використати синусну лінійку з відстанню між опорами 100 мм [2].

2. *Методика вимірювання відхилення від площинності оптичною лінійкою:* при повірці плит розміром до 630×400 мм плиту, що повіряється, і оптичну лінійку рекомендується встановлювати на плиту більшого розміру. Лінійку поміщають на домкрати, якими регулюють її положення по висоті [3].

3. *Методика вимірювання відхилення від площинності бульбашковим рівнем і мікронівеліром:* рівень закріплюють на вимірювальній каретці з відповідною відстанню між опорами, а ампулу мікронівеліра – на одній із змінних основ, що входять в його комплект. Положення точок, що перевіряються, в перерізах визначають таким же чином, як при вимірюванні автоколіматором. При вимірюванні визначають на кожній ділянці контрольованого перерізу зміщення бульбашки ампули рівня або мікронівеліра відносно нульових штрихів шкали [1].

4. *Методика вимірювання відхилення від площини звіренням із зразковими повірочними лінійками за допомогою компаруючого пристрою або пристроїв з вимірювальними головками:* при вимірюванні використовують повірочні лінійки і компаруючий пристрій. Спочатку проводять вимірювання в діагональних перерізах. Зразкову лінійку поміщають на опорні призми, що входять до складу компаруючого пристрою (або пристрою з вимірювальними головками), і встановлюють її вздовж однієї з діагоналей плити так, щоб середина лінійки співпала з центром плити. У центральну точку плити встановлюють стійку з вимірювальною головкою, піднімають її до стикування вимірювального наконечника з робочою поверхнею зразкової лінійки і, встановивши на шкалі

близьке до нуля показання, закріплюють головку в стійці [1].

5. *Методика вимірювання відхилення від площинної гідростатичним рівнем:* вимірювання проводять тільки в повздовжніх перерізах. Одну вимірювальну головку встановлюють на одну з кутових точок плити, а другу – послідовно на всі точки, що перевіряються, і кожного разу знімають показання з обох головок. Показання записують в протокол довільної форми [2].

Виокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми. Проаналізувавши конструкцію повірочних та розмірочних плит, а також вивчивши існуючі методики їх повірки, можна визначити ряд недоліків:

- значна трудомісткість повірочного процесу;
- тривале зняття показань вимірювань та їх обробка вручну;
- значний вплив людського фактору на результат вимірювання, який прямо пов'язаний з точністю отримання результатів;
- неможливість повірки плит безпосередньо на місці їх установки.

Виходячи із зазначеного, виникає нагальна потреба в створенні автоматизованої установки отримання показань та обробки результатів вимірювань із застосуванням сучасних електронних вимірювальних приладів, пов'язаних з ЕОМ.

Постановка задачі. Метою дослідження є розробка автоматизованої мобільної установки для визначення відхилення від площини повірочних та розмірочних плит, яка забезпечить підвищення точності вимірювання відхилення від площини вищезазначених плит, а також зниження трудомісткості та часу виконання, що, у свою чергу, дасть можливість не знизити клас точності плит та полегшити роботу метролога.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом дослідження даної установки є повірочна та розмірочна плита. За допомогою рівня брускового та у відповідності до методики повірки [4, 6], повірочна та розмірочна плита виставляється в горизонтальне положення. В перетворювач входить чутливий елемент – маятник, який контролюється індуктивним датчиком. В електронний блок надходять сигнали з перетворювача та реєстратора температури. Далі оброблений сигнал поступає на ЕОМ.

На рис. 1 представлено структурну схему установки для вимірювання відхилення від повірочних та розмірочних плит.

Допуск площинності робочих поверхонь плит не повинен перевищувати значень, зазначених

в ДСТУ 10905-86 «Плити повірочні та розмірочні. Технічні умови», відповідно до розміру плит та їх класу точності. Плити повинні періодично проходити перевірку метрологічною службою підприємства. Визначається допуск площинності та підтверджується клас точності плити [9]. Це дуже важливо, тому що плити можуть використовуватись для повірочних робіт та можуть бути використані як основи під високоточні прилади.

Умови експлуатації установки:

- температура навколишнього середовища: +20 ...+40 ;
- відносна вологість повітря: 45...80 %;
- атмосферний тиск: 630 ... 800 мм.рт.ст;
- вібрація – пікове значення віброзміщення при частоті 10 Гц не повинне перевищувати 50 мкм/с;
- запиленість приміщення – клас чистоти повітря 4 по ОСТ 1.41519;
- опір контуру заземлення – менше 4 Ом.

Брусковий рівень служить для контролю горизонтального положення плити, інших плоских та циліндричних поверхонь, а також вимірювання малих кутів [5].

На рис. 2 представлено конструкцію брускового рівня.

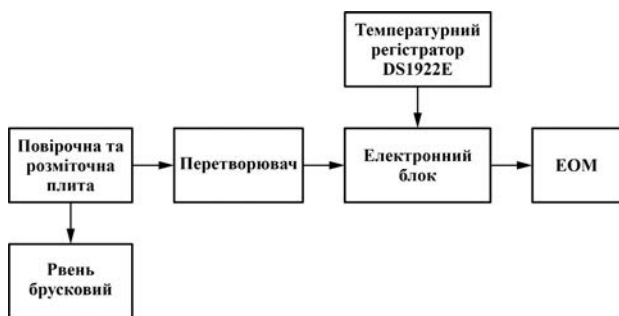


Рис. 1. Структурна схема установки для вимірювання відхилення від повірочних та розмірочних плит

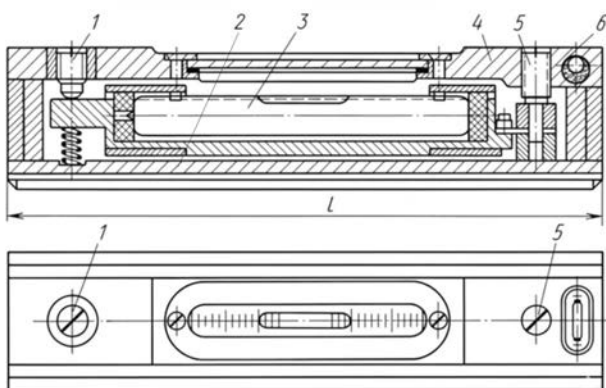


Рис. 2. Креслення брускового рівня

Корпус 4 брускового рівня на нижній робочій поверхні має призматичну виїмку для встановлення на циліндричні поверхні. Амбула 3 закріплена в оправу 2 та встановлена всередині корпусу рівня. Кріплення оправу ампули до корпусу здійснюється гвинтом 5 через плоску пружину. Інший кінець оправу пружиною підібраний до гвинта регулювання 1, яким під час зборки рівня встановлюється паралельність ампули відносно основи. Над ампулою в корпусі рівня вирізано вікно, що закрите рамкою зі склом. Установочна ампула 6 розміщена в поперечному отворі корпусу, та залита твердим составом.

Чутливим елементом рівня є ампула, що представляє собою запаяну циліндричну скляну трубку, заповнену рідиною із залишком маленького пухирця повітря. Внутрішня поверхня ампули шліфується по радіусу. На зовнішній верхній поверхні ампули наноситься шкала з інтервалом ділень, рівним 2 мм. Дія ампули основана на тому, що при її нахилі рівень рідини в ній завжди розташовується горизонтально та пухирець переміщується в найвищу точку ампули. Відлік по шкалі відбувається по краям пухирця повітря.

Якщо при перевірці горизонтальності плити, пухирець повітря не встановлюється на нульові положення, то необхідно за допомогою регулювальних гвинтів виставити плиту в горизонтальне положення.

Електронний блок представляє собою систему автоматичного регулювання, що забезпечує постійне положення маятника відносно корпусу перетворювача, який встановлюється на вимірювальну поверхню. Положення маятника регулюється індуктивним датчиком, сигнал з якого потрапляє в систему автоматичного регулювання.

При нахилі корпусу перетворювача на маятник діє тангенціальна складова сили тяжіння, пропорційна куту нахилу (при малих кутах). Для компенсації цієї сили служить сила електромагнітного поля, що створюється пристроєм магнітоелектричної системи, котушка якого ввімкнена в коло зворотнього зв'язку системи автоматичного регулювання.

Сила електромагнітного поля пропорційна струму через котушку.

Внаслідок рівності сил, що діють на маятник, струм крізь котушку пропорційний куту нахилу вимірювальної поверхні відносно лінії горизонту та служить для подальшого перетворення та відліку цього кута.

Електронний блок виконаний в настільному варіанті. Всі вузли та плати закріплені в єдиному

каркасі та з'єднані в електричну схему за допомогою джгута та рознімачів.

Пристрій автоматичного регулювання (ПАР) (рис. 3) призначений для підсилення модульованого сигналу від індуктивного датчика, демодуляції та автоматичного регулювання рівня сигналу, що забезпечує постійне положення маятника відносно корпусу перетворювача.

Додаткові функції:

- виділення за допомогою фільтрів корисних та заглушення паразитних сигналів;
- узгодження рівнів сигналів ПАР з мікроконтролером;
- отримання стандартного рівня напруги на аналоговому виході.

Також в електронному блоці розміщено мікроконтролер, який виконує програму, записану в його пам'яті. На нього поступає інформація від системи автоматичного регулювання, а також від регістратора температури.

Температурний регістратор DS1922E – є самодостатньою системою, яка після її вибраних користувачем настановних значень вимірює температуру і записує результати в захищену секцію вбудованої незалежної пам'яті даних. Запис проводиться визначуваною користувачем швидкістю. Прилад може зберігати в пам'яті 8192 8-розрядних значення температури або 4096 16-розрядних значень температури з інтервалом від 1 секунди до 273 годин. На додаток до цього в DS1922E має 576 байт додаткової пам'яті (SRAM) для зберігання характеристик реєстрованого процесу, його особливостей або особливостей місця установки приладу. Користувач може встановити момент початку реєстрації даних [7, 8].

Реєстрація може початися відразу після всіх параметрів вимірювання, через визначувану користувачем тимчасову затримку або після досягнення температурою порогового значення. Доступ до пам'яті і функцій управління може бути захищений паролем.

DS1922E використовує для зв'язку з пристроями підтримки протокол 1-Wire, який вимагає лише однієї шини даних. Кожен DS1922E має унікальний, фабричний, підготовлений лазером 64-розрядний реєстраційний ідентифікаційний номер, що дозволяє безпомилково ідентифікувати прилад. Міцний корпус MICROCAN [10], в якому розміщена електронна схема DS1922E, володіє високою стійкістю до дій навколишнього середовища, таких як забруднення, вологість, удари. Цей компактний, монетоподібний корпус легко фіксується спеціальними зондами для прочитування інформації, що значно полегшує роботу оператора з приладом. Інші спеціальні аксесуари для фіксації пристроїв в подібних корпусах дозволяють легко закріплювати прилади DS1922E на будь-якій поверхні, включаючи контейнери, чохла, кювети і т. д.

Функціональна схема на рис. 4 показує зв'язок між основними вузлами управління і секціями пам'яті приладу DS1922E.

Прилад має п'ять головних областей даних:

- 1) 64-бітовий ідентифікаційний ПЗП, проширений лазером;
- 2) 256-бітову «блокнотну» пам'ять;
- 3) 576-байтне статичне службове ОЗУ (додаткова пам'ять);
- 4) дві 256-бітові сторінки реєстрів (керування, зберігання часу, лічильників, статусу і паролів);
- 5) 8192 байта буфера послідовних температурних відліків для зберігання накопичених результатів.

За винятком ідентифікаційного ПЗП і «блокнотної» пам'яті всі інші області розташовані в єдиному лінійному адресному просторі. Вся пам'ять, службовка для зберігання результатів, реєстри лічильників і деякі інші реєстри доступні тільки для читання. Обидві реєстрові сторінки захищено від запису, прилад програмується на наступний цикл вимірювань. Реєстри паролів (один реєстр пароля читання і один реєстр пароля читання/запису) доступні тільки для запису.

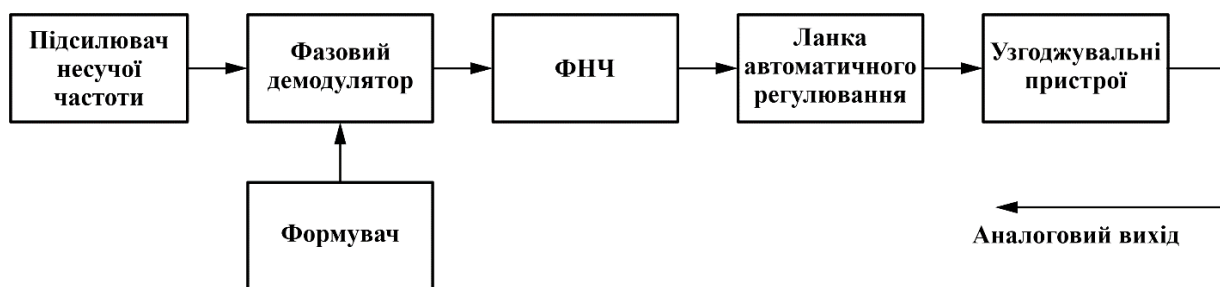


Рис. 3. Структурна схема ПАР

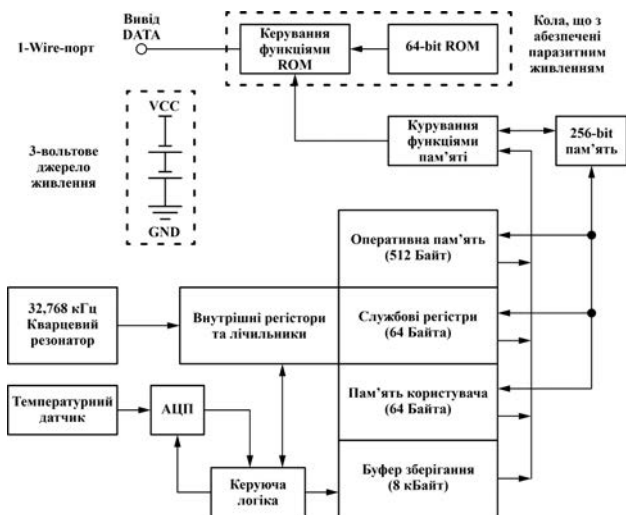


Рис. 4. Функціональна схема зв'язку між основними вузлами управління і секціями пам'яті приладу DS1922E

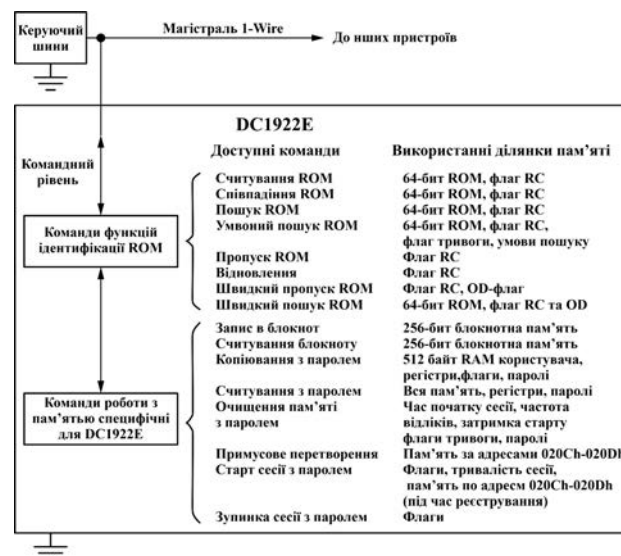


Рис. 5. Структура протоколу обміну пристроєм DS1922E

Ієрархічна структура 1-протоколу інформаційного обміну приладу показана на рис. 5.

Спочатку ведучий 1-Wire-шини повинен адресувати пристрій, згенерувавши одну із стандартних команд, пов'язаних з ідентифікаційним ПЗП пристрою: 1) читання ПЗП, 2) збіг ПЗП, 3) пошук ПЗП, 4) умовний пошук ПЗП, 5) пропуск ПЗП, 6) прискорений пропуск ПЗП, 7) прискорений збіг ПЗП, 8) відновлення. Після виконання команд Прискорений Пропуск ПЗП або Прискорений збіг ПЗП при стандартній швидкості обміну, прилад перейде в прискорений режим, де обмін відбувається з вищою швидкістю. Протокол потрібен для команд, пов'язаних з функцією ПЗП. Після успішного виконання команди функції ПЗП стають доступними функції пам'яті, і ведучий 1-Wire магiстралі може виконати будь-яку з восьми

доступних команд функції пам'яті. Читання і запис всіх даних проводиться, починаючи з молодшого значущого біта.

Висновки. На основі проведеного аналізу з'явилася нагальна потреба в створенні автоматизованої установки отримання показань та обробки результатів вимірювань із застосуванням сучасних електронних вимірювальних приладів, пов'язаних з ЕОМ, на базі чого було розроблено автоматизовану мобільну установку для перевірки геометричної точності повірочних плит, що дозволила підвищити точність та надійність отриманих даних. У якості конструктивного рішення було знайдено електронний рівень, визначено ряд переваг перед іншими приладами, підібрано та описано елементи, які необхідні для безпосереднього сполучення перетворювача з ЕОМ.

Список літератури:

1. Білий В.В. Основи метрології та вимірювань: навчальний посібник. Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2019. 256 с.
2. Baliga B.J. Fundamentals of Power Semiconductor Devices. 2nd ed. Cham: Springer, 2019. 1094 p.
3. Figliola R.S. Theory and Design for Mechanical Measurements. 7th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2020. 624 p.
4. Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2015. 1224 p.
5. Jaeger R.C., Blalock T.N. Microelectronic Circuit Design. 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015. 1344 p.
6. Kirkup L., Frenkel R.B. Measurement and Instrumentation: Theory and Application. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. 590 p.
7. Lutz J., Schlangenotto H, and Scheuermann U. Semiconductor Power Devices: Physics, Characteristics, Reliability. 2nd ed. Cham: Springer, 2018. 641 p.
8. Scherz P., Monk S. Practical Electronics for Inventors. 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2016. 1056 p.
9. Sedra A.S., Smith K.C. Microelectronic Circuits. 8th ed. Oxford: Oxford University Press, 2020. 1320 p.
10. Williams B.W. Power Electronics: Devices, Drivers, Applications, and Passive Components. 2nd ed. London: Macmillan Education UK, 2017. 320 p.

Haidai H. Yu., Hrieshnov A. Yu. AUTOMATED MOBILE DEVICE FOR CHECKING THE GEOMETRY ACCURACY OF CALIBRATION PLATES

The increase in the level of metrological support of calibration and marking plates is due to their place in ensuring product quality, since marking is carried out on them before manufacturing and final control of parts after manufacturing. The problem was posed and gave impetus to the development of an improved mobile installation for determining the deviation from the plane of calibration and marking plates. The paper presents an improved mobile installation for determining the deviation from the plane of calibration and marking plates, as well as a system for its metrological support and protocol confirmation of measurement results. An analysis of existing methods for controlling deviation from the plane was carried out, the choice of technical means and structural solutions was justified. A structural and functional scheme was developed. The results obtained provide increased accuracy, reliability and convenience of performing measurements in laboratory and production conditions. Based on the analysis, there was an urgent need to create an automated installation for obtaining readings and processing measurement results using modern electronic measuring instruments connected to a computer, on the basis of which an automated mobile installation was developed to check the geometric accuracy of calibration plates, which allowed to increase the accuracy and reliability of the obtained data. An electronic level was found as a constructive solution, a number of advantages over other devices were identified, and elements necessary for direct connection of the converter with a computer were selected and described. The object of research of this installation is a calibration and marking plate. Using a bar level and in accordance with the calibration method, the calibration and marking plate is placed in a horizontal position. The converter includes a sensitive element - a pendulum, which is controlled by an inductive sensor. The electronic unit receives signals from the converter and the temperature recorder. Then the processed signal is fed to the computer.

Keywords: calibration plate, marking board, electronic level, automatic adjustment, metrological support.

Дата першого надходження статті до видання: 15.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 19.05.2026