

УДК 629.7

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804162017100914>

О. Л. Макаров¹, Ю. М. Туз², професор, д.т.н., Ю. М. Самарцев³, доцент, к.т.н., М. М. Куліковський⁴, О. О. Мороз⁵, провідний інженер

СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІДОКРЕМЛЮВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

En

Lately the physical models of detachable elements have become widespread. Physical models and detachable elements should have identical dimensional and weight parameters, including mechanical and dynamic characteristics. Physical model should measure the real impact of various physical quantities such as temperature, pressure, force, magnetic field, measure and record both parameters of external influences and their derivatives that allow determination the trajectory of detachable element by its constituents such as angular rate and acceleration in three coordinates.

The value of the measured parameters should be stored in an indestructible memory even in the case when the physical model breaks through hard usage and large separation and fall accelerations.

In this regard, in parallel with the development of physical models the specific control and calibration equipment (CCA) is developed, which is used both during design and production, and during prelaunch control of detachable physical model, reading, decoding, display and interpretation of measurement data.

For measuring transducers with balanced inputs the bridge network simulator is proposed so that the output voltage is not created by changing the resistance of one or more arms of the bridge, rather by incorporating serial connection with resistance of one arm of bridge circuit the additional regulated voltage source from a digital-to-analog converter, which will function as test values, that is equivalent to the measure

¹ ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля

² НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

³ НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

⁴ ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля

⁵ ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля

of non-electrical physical quantity.

Analytical dependences of simulator output voltage on electromotive force power supply of bridge circuit, output voltage of digital-to-analog converter and all elements of principle diagram, and error equations for each component of the circuit have been achieved.

The CPA includes: digital-to-analog converter (16 channels, ± 10 V, 16 bits); analog-to-digital converter NI 9205 (32 channels, $\pm 0,2$ B, ± 1 V, ± 5 V, 16 bits); measuring channel adapter; personal computer; interface converter; software that enables to put testing voltage for all channels of detachable element (DE), read data from DE memory, find real conversion factors and use them to correct errors, display resulting flight information in the form of graphs and tables.

The possibility of filtering to reduce noise impact of different types is proposed. Metrological verification of the CCA is implemented using nanovoltmeter HP 34420A, which has a resolution of $7 \frac{1}{2}$ decimal places and the AC/DC calibrator N4-7.

Ru

Описаны и обоснованы главные принципы построения структур систем измерения физических параметров отделяемых элементов, находящихся в сверхжестких условиях. Приведен пример построения измерительных каналов для измерения траекторных параметров, давления и температуры. Наведен расчет параметров синхронизации для временного согласования измерительных отсчетов физических параметров с отсчетами реального времени.

Вступ

Можливість вимірювань фізичних параметрів відокремлюваних елементів (ВЕ) є однією з найважливіших задач, що виникають у ході проведення експериментальних досліджень під час розробки нових зразків техніки у таких галузях, як літакобудування та авіакосмічна техніка [1]. Переваги, що надає така можливість, полягають у тому, що знання достовірної інформації про значення фізичних параметрів ВЕ протягом їх руху дозволяє побудувати достовірну модель поведінки ВЕ із метою аналізу та прогнозування поведінки об'єкта, із яким пов'язаний ВЕ, та їх взаємодії. А це у свою чергу дає можливість скоротити об'єм експериментальних відпрацювань, матеріальні та часові витрати на проведення яких, можуть бути досить значними. У даній статті на основі проведеного аналізу виділено перелік фізичних параметрів, за якими може бути побудована модель поведінки ВЕ, сформульовані основні вимоги до побудови систем вимірювання фізичних параметрів (СВФП) ВЕ, описані та обґрунтовані головні принципи побудови структури СВФП.

Аналіз проблеми

Особливістю СВФП ВЕ є те, що ВЕ протягом свого руху знаходиться у наджорстких умовах, а саме:

- перевантаження до 10000 g;

- зовнішня температура газу на поверхні ВЕ від -40°C до $+2000^{\circ}\text{C}$;
- кліматичні умови експлуатації від помірних до тропічних або полярних.

У таких умовах вимоги до структури СВФП повинні передбачати схемотехнічні засоби захисту вимірювальних каналів (ВК) від впливу вказаних факторів. Аналіз параметрів, які описують поведінку ВЕ, дозволив виділити перелік основних фізичних параметрів, діапазони їх значень та вимоги до точності вимірювань, а саме;

- проекції лінійного прискорення на 3-х вісню систему координат $\pm 20000 \text{ м/с}^2$ у частотному діапазоні $0 \div 2000$ Гц із приведеною основною похибкою $\pm 2 \% \div \pm 5 \%$;
- проекції кутової швидкості на 3-х вісню систему координат ± 20000 $^{\circ}/\text{с}$ у частотному діапазоні $0 \div 2000$ Гц із приведеною основною похибкою $\pm 2 \% \div \pm 5 \%$;
- ударно-хвильовий тиск на поверхні ВЕ $0 \div 120 \text{ кгс/см}^2$ у частотному діапазоні $100 \div 2000$ Гц із приведеною основною похибкою $\pm 2 \%$;
- температура газу на поверхні ВЕ $0 \div 2000^{\circ}\text{C}$ у частотному діапазоні $0 \div 2000$ Гц із приведеною основною похибкою $\pm 2 \%$;
- зусилля елементів кріплення ВЕ $\pm 5000 \text{ Н}$ у частотному діапазоні $10 \div 100$ Гц із приведеною основною похибкою $\pm 2 \%$;
- напруженість магнітного поля Землі $\pm 80 \text{ мкТ}$ у частотному діапазоні $0 \div 100$ Гц із приведеною основною похибкою $\pm 2 \%$.

Кількість точок вимірювання вказаних параметрів визначається конструкцією об'єкта, пов'язаного із ВЕ, і може досягати кілька десятків для кожного типу фізичного параметра. Особливістю вибору структури СВФП є також обмежений простір для розташування ВК СВФП. Обмежений простір разом із необхідністю захисту ВК від впливу таких зовнішніх факторів, як висока температура та перевантаження, визначають вимоги до проектування структури ВК СВФП ВЕ, якими є:

- модульність ВК;
- автономність та незалежність вимірювального процесу кожного ВК;
- незалежність функцій збереження даних процесу вимірювань кожного ВК;
- резервування функцій живлення ВК;
- відновлення процесу вимірювань після можливих перезавантажень або збоїв із збереженням часових міток реального часу;
- керування процесом зарядки/розрядки автономних акумуляторних батарей живлення СВФП протягом терміну експлуатації;
- конструктивний захист ВК від впливу зовнішніх факторів.

Постановка задачі

Аналіз можливості виконання описаних вище вимог дозволяє сформувати структуру СВФП у вигляді набору функціонально автономних модулів ВК із згрупованими по ознакам близькості фізичними параметрами, що вимірюються. Кількість та координатне розташування модулів ВК залежить від типу об'єкта, пов'язаного із ВЕ. Частотні діапазони змін значень виділених фізичних параметрів визначають частоту опитування кожного із них, яка лежить у межах $400 \div 5000$ Гц. Кожен із ВК СВФП повинен мати власну систему збереження вимірювальної інформації. Особливо важливою є розробка такого формату збереження інформації, який дає можливість синхронізувати відліки кожного із параметрів за реальним часом. Необхідною умовою формату збереження інформації є також можливість виявлення ситуацій збою та відновлення у записах без втрат синхронізації за реальним часом [2].

Так як СВФП має автономне живлення від акумуляторних батарей, актуальним є вибір останніх за параметрами потужності, ємності та безпеки. Аналіз існуючих типів акумуляторних батарей необхідної ємності $800 \div 1400$ мАгод, струму навантаження до 1200 мА та безпеки експлуатації дає можливість зупинити вибір на акумуляторних батареях типу *Li/MnO₂* із характеристиками;

- напруга вихідна $3,0$ В; ємність 1500 мАгод;
- струм навантаження постійний до 1500 мА, короткочасний – до 3000 мА;
- робочий температурний режим -40 °С \div $+70$ °С.

Особливістю цього типу батарей є вибухобезпечність, що є необхідною вимогою для більшості об'єктів, пов'язаних із ВЕ. СВФП повинна мати можливість виявлення критичного зниження ємності та безпечної підзарядки акумуляторних батарей, а також необхідність контролю за роботою ВК протягом підготовчого терміну висуває вимогу циклічного опитування ВК СВФП зовнішніми технічними засобами без використання функції збереження.

Важливою вимогою до СВФП ВЕ є також виконання заходів метрологічного забезпечення ВК протягом терміну експлуатації без необхідності розбирання конструкції СВФП на складові частини. За цією метою проектування СВФП виконується спільно із проектуванням контрольно-перевірочної апаратури (КПА), яка крім технічного контролю функціонування ВК повинна забезпечувати операції їх метрологічного забезпечення.

Головні елементи структури СВФП та їх реалізація

На рис. 1 представлена функціональна схема розробленої СВФП для вимірювання фізичних параметрів ВЕ, що рухається за балістичною траєкторією.

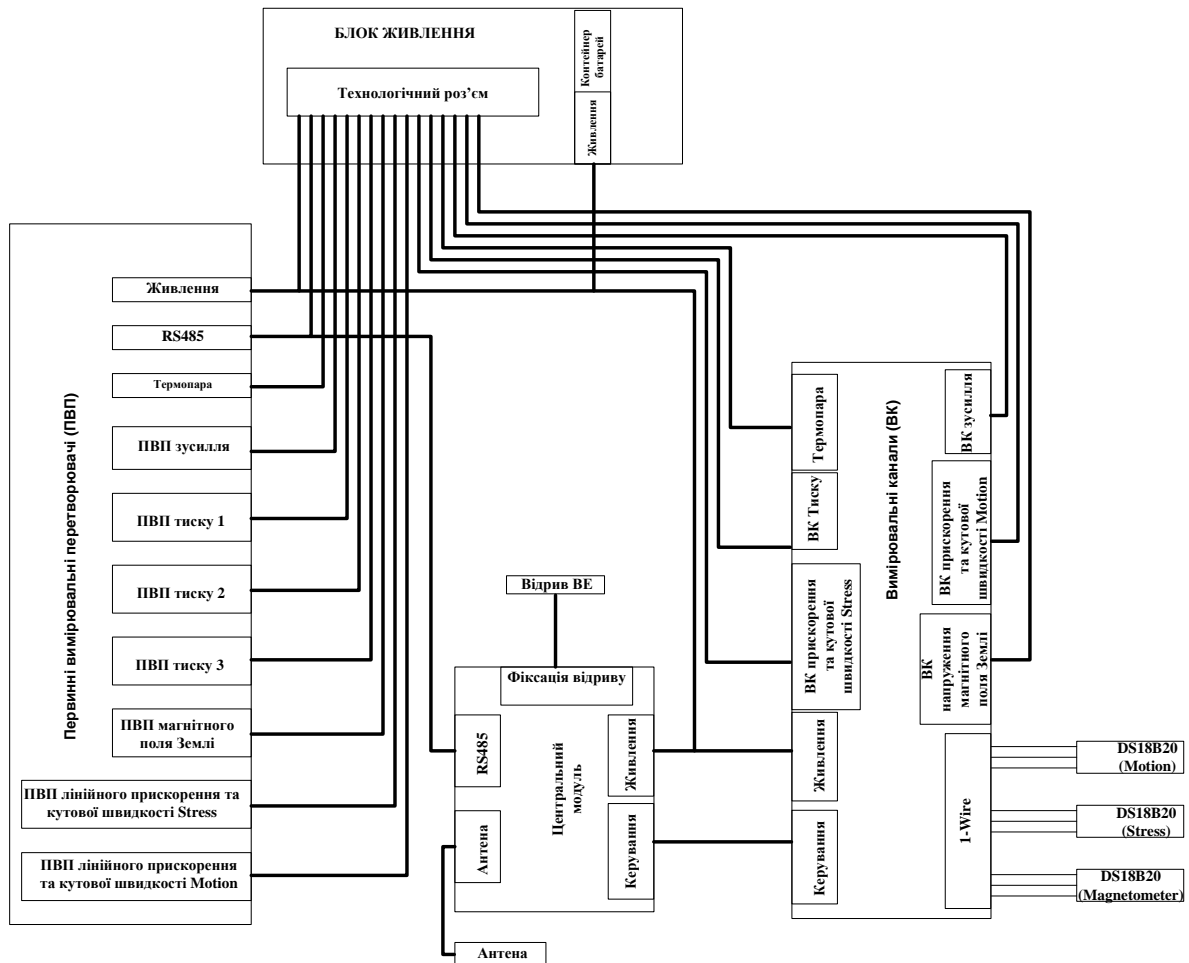


Рис. 1. Функціональна схема СВФП ВЕ

ВК СВФП поділені на дві групи – група первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) та група вторинних вимірювальних перетворювачів. Виходи перших та входи других виведені до технологічного роз'єму і з'єднуються там спеціальним кросовим модулем. Технологічний роз'єм знаходиться у носовій частині ВЕ, так що до нього замість кросового модуля може бути під'єднана КПА. Така структура СВФП дозволяє проводити за допомогою КПА контрольні та метрологічні заходи, маючи одночасний доступ до виходів ПВП та входів ВВП. ВК СВФП згруповані в два функційно автономних модуля *Stress* та *Motion*. Розподіл ВК по цим модулям визначається частотним діапазоном зміни фізичних параметрів. Модуль *Stress* об'єднує вимірювальні канали параметрів, що змінюються стрибкоподібно, а *Motion* – плавно.

Кожен модуль ВК має у своєму складі запам'ятовуючий пристрій (ЗП), де зберігається вимірювальна інформація. ЗП має власну файлову систему, побудовану таким чином, що кожен збій або переривання безперервного процесу запису інформації до ЗП породжує новий файл.

Це дає можливість провести синхронізацію вимірювальної інформації за реальним часом так, як файли містять взаємопов'язані часові відліки, отримані один від одного під час виникнення цих подій. Можливість такої

синхронізації ґрунтується на ймовірності того, що виникнення збоїв одночасно двох модулів менша ніж одного із них. Решта блоків СВФП також згруповані у модулі. Кожен модуль є функціонально закінченим пристроєм і конструктивно сформований у монолітну конструкцію за допомогою заливки Віксинт-68 та наповнювача ВК-9. На рис. 2 показано зовнішній вигляд модулів ВК.

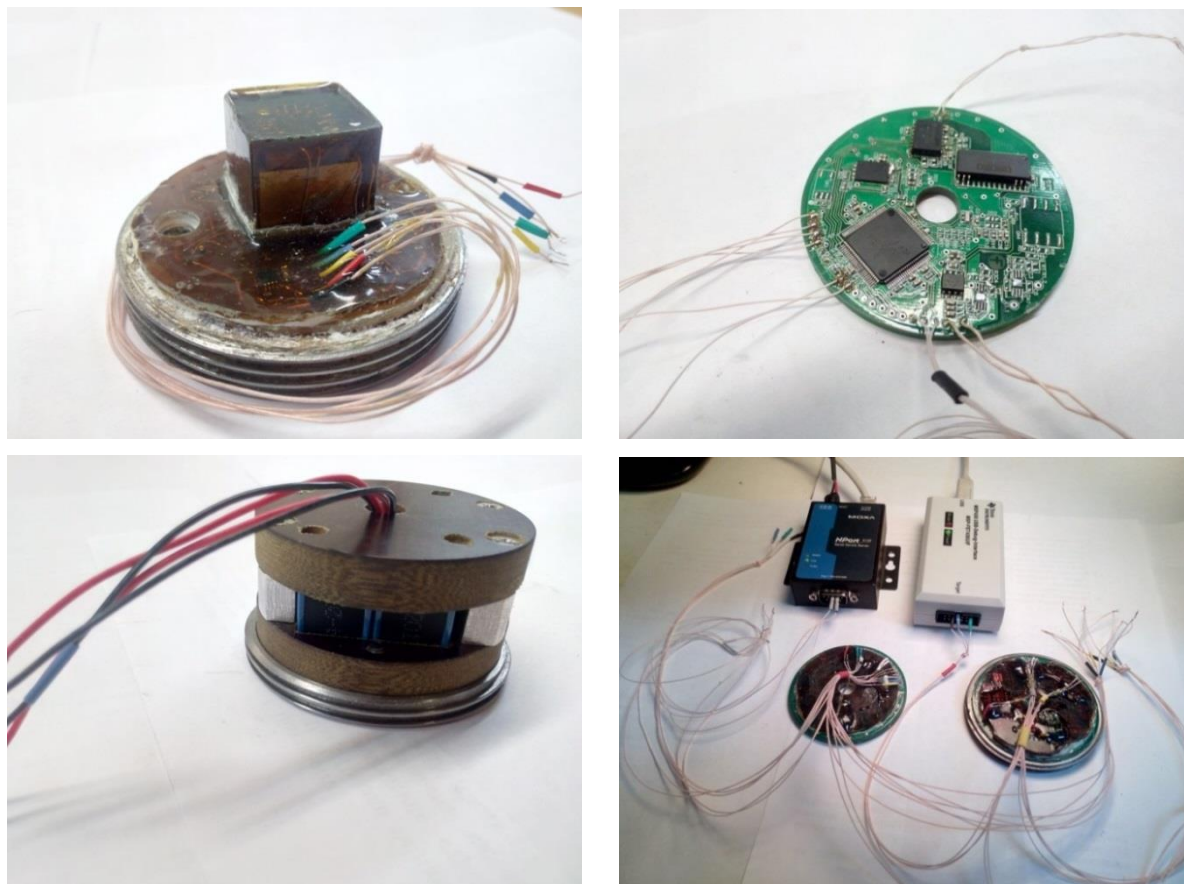


Рис. 2. Зовнішній вигляд модулів ВК

Незважаючи на точність внутрішнього тактового генератора ВК неминуче виникає розбіжність часових відліків. Наприклад, для генератора DSC1101 із частотою 24 МГц абсолютна похибка складає $\pm 2,083$ пс тоді, як максимальна розбіжність двох ВК становитиме $\Delta t_{\max} = 4,167$ пс і за 1 секунду складе 100 мкс. Описана частотна похибка може бути скомпенсована введенням коригуючих коефіцієнтів для часових відліків (*timestamp*) за формулою:

$$t_i = k_t \cdot T_d \cdot \text{timestamp} + b_t,$$

де k_t , b_t – коригуючі коефіцієнти, що визначаються калібруванням тактових генераторів; T_d – номінальний період дискретизації ВК СВФП.

На рис.3 показано розміщення модулів ВК у корпусі ВЕ.

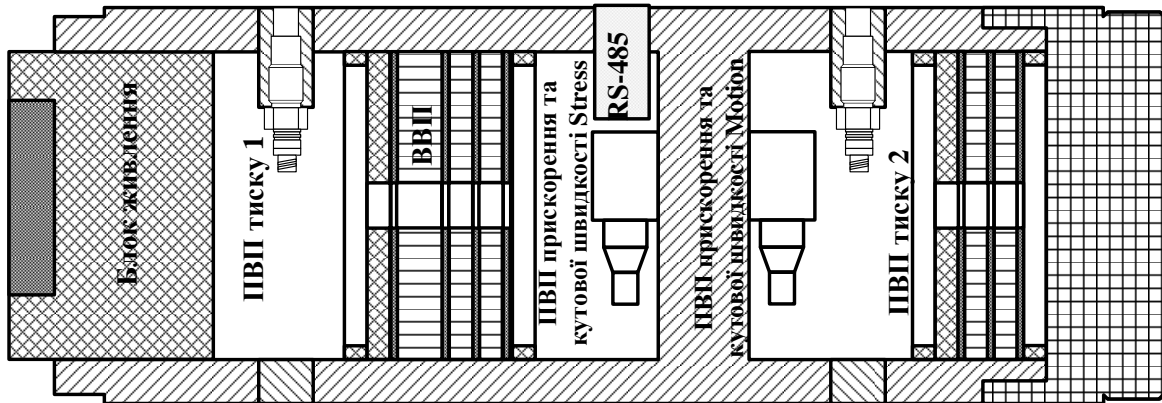


Рис. 3. Схема розміщення модулів ВК у корпусі ВЕ

Вимога забезпечення стійкості до перевантажень 10000 g виконується за рахунок заповнення всіх пустот корпусу ВЕ поліуретаном на основі Деколаст 3. Вимірювальна інформація СВФП зчитується за допомогою КПА через центральний модуль (ЦМ). На рис. 4 показана структурна схема системи зчитування вимірювальної інформації СВФП через КПА від ВЕ.

Результати випробувань, записані у ЗП СВФП, представлені на рис. 5.

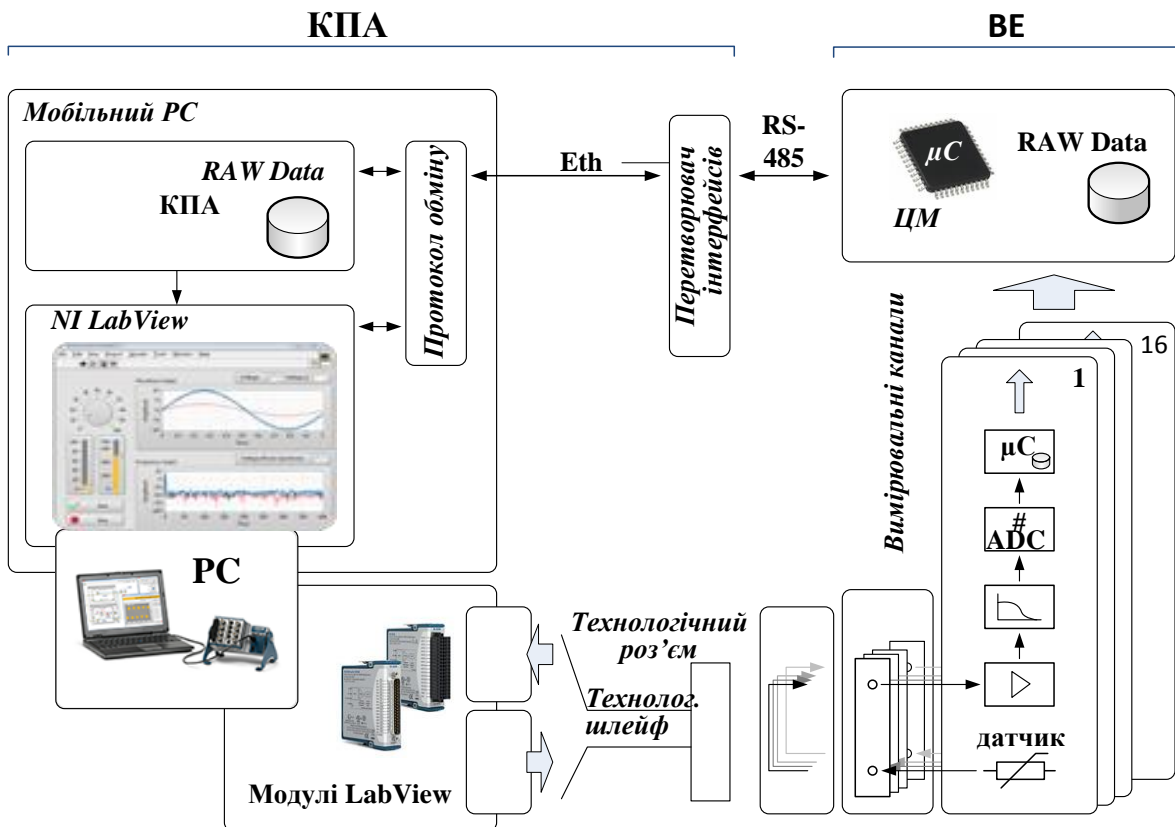


Рис. 4. Структурна схема системи зчитування вимірювальної інформації СВФП

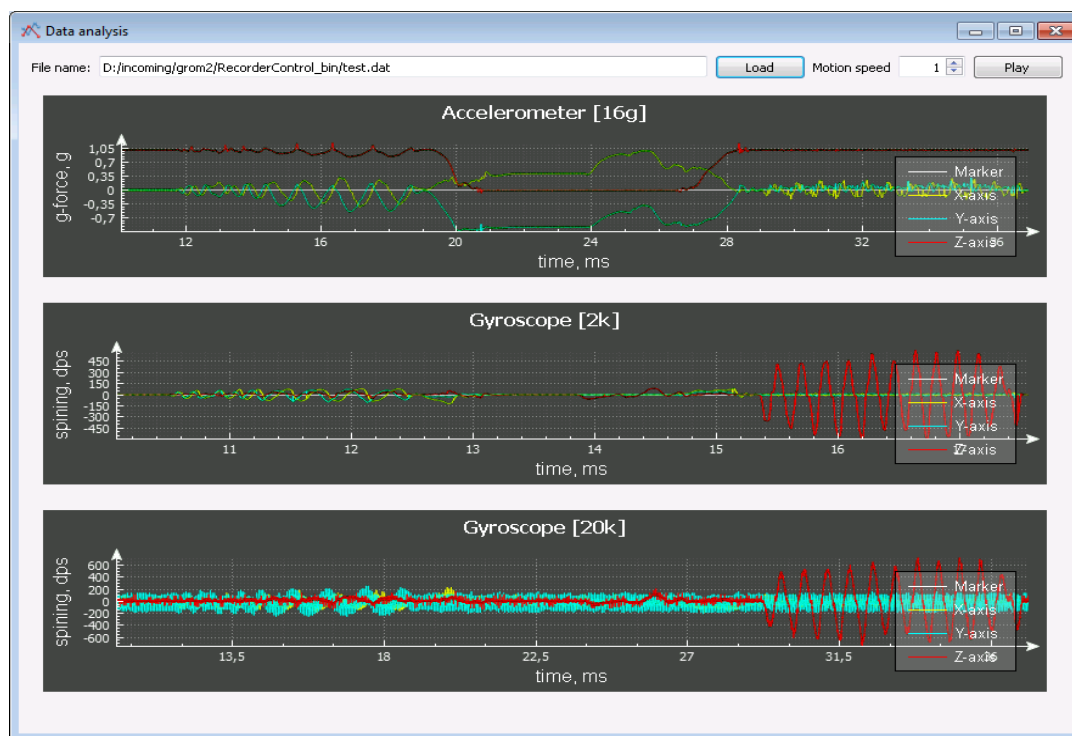


Рис. 5. Результати вимірювань траєкторних параметрів ВЕ

Висновки

Проведений аналіз вимог до СВФП ВЕ дозволив сформувати головні принципи побудови структур останніх, що знаходяться у надзорських умовах. Знайдені рішення захисту від зовнішніх впливів дозволили розробити СВФП для вимірювання траєкторних параметрів руху ВЕ, тиску та температури в умовах перевантаження до 1000 g та зовнішньої температури поверхні ВЕ до 2000 °C. Використання розробленої структури для дослідження поведінки ВЕ рухомих об'єктів, дозволить скоротити об'єм експериментальних відпрацювань та суттєво зменшити часові та матеріальні витрати на розробку нових зразків техніки.

Список використаної літератури

1. https://www.bea.aero/uploads/tx_scalaetudessecurite/use.of.fdr_01.pdf –С. 55.
2. Flight Data Recorder. Monitoring Persistent-State Interactions to Improve Systems Management <https://people.cs.uchicago.edu/~shanlu/paper/FDR-OSDI-CR-FINAL.pdf> -С. 14.