

О. В. Коломійцев¹, В. О. Комаров², О. М. Дмитрієв³, В. В. Пустоваров⁴, Р. М. Олійник⁵

¹ Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

² Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України, Київ, Україна

³ Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

⁴ Харківське представництво генерального замовника – Державне космічне агентство України,
Харків, Україна

⁵ Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння
та військової техніки, Чернігів, Україна

МЕТОД КОНТРОЛЮ ЧАСТОТИ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВАГИ ТІЛА КОСМОНАВТА І МАЛОЇ ВАГИ В УМОВАХ НЕВАГОМОСТІ

Анотація. В статті проведено аналіз існуючих основних методів визначення ваги тіла космонавтів і об'єктів малої ваги в умовах невагомості та розкрито їх особливості застосування. Найбільш зручним і перспективним способом визначення інерціальної ваги тіла в умовах невагомості вважається використання різного роду осциляторів та приладів, що дозволяють вимірювати параметри тіла космонавта (об'єктів малої ваги приладів тощо), яке коливається. Можливо використовувати залежність періоду коливань пружини від ваги закріпленого на ній тіла космонавта тощо. Розглянуто вимірювач ваги «ИМ-01М», його технічні характеристики, склад та принцип дії. Такий вимірювач можливо доповнити системою зважування космонавтів (астронавтів) за методом Кармело Велардо, який дозволяє отримати данні про глибину об'єкту вимірювання (форму і розміри космонавта та його рух). **Об'єктом дослідження** є осцилятори та прилади, що дозволяють вимірювати параметри тіла космонавта і об'єктів малої ваги, які коливаються. **Предметом дослідження** є математичний апарат щодо визначення частоти власних коливань динамічної системи. **Метою наукової роботи** є розробка методу контролю частоти власних коливань для визначення ваги тіла космонавта і об'єктів малої ваги в умовах невагомості. **Висновки.** Запропоновано метод визначення ваги тіла космонавтів і об'єктів малої ваги в умовах невагомості та його реалізацію за зміною частоти власних коливань. Представлено аналітичні вирази для розрахунку частоти власних коливань динамічної системи та відповідні графіки. Розроблено пружно-ваговий пристрій для проведення вимірювань. Приведено схемо-технічне рішення пристрою, розкрито його склад і принцип дії. Пристрій спроможний визначити вагу об'єкта контролю та його стан (неоднорідність, наявність рідкого наповнювача, частин, що коливаються тощо).

Ключові слова: невагомість; вага тіла космонавта; динамічна система; частота власних коливань; одноступеневий осцилятор; пружно-ваговий пристрій.

Вступ

Постійне вдосконалення космічної техніки відкриває нові широкі перспективи щодо подальшого вивчення та використання космічного простору на користь науки. Роки космічної ери підтвердили велике майбутнє у напрямку освоєння та використання космосу на користь людства. Нині у космосі систематично працюють штучні супутники Землі різних серій, несуть вахти метеорологічні супутники, супутники зв'язку та рятувальні супутники, а також плідно працюють довготривалі орбітальні станції. Усі роботи супутників пов'язані з великим вантажопотоком трасою Земля-орбіта-Земля. Створення нових космічних комплексів та транспортних засобів є головним завданням доставки на орбіту та повернення з неї корисних вантажів малої та великої ваги. Такі транспортні засоби дозволяють повертати з орбіти на Землю з автоматичних апаратів матеріали наукових досліджень та експериментів, у тому числі обладнання, що вийшло з ладу. За необхідністю може бути повернений на Землю для профілактики, ремонту або модернізації й сам супутник, що дасть істотний економічний ефект.

Таким чином, різноманітні завдання, які пов'язані з визначенням ваги об'єктів (наприклад, визна-

чення ваги супутника, що підготовлений до завантаження у космічний апарат, що спускається, необхідність у вирішенні яких має істотне значення для центрування самого апарата, що спускається, або контроль за зміною ваги космонавтів при тривалому орбітальному польоті тощо), дозволяє стверджувати про актуальність створення високоточного пристрою для визначення ваги тіла космонавтів і об'єктів малої ваги в умовах невагомості.

Постановка проблеми

Відомо, що невагомість – це стан тіла, при якому воно рухається тільки під дією сили тяжіння. Також, невагомість – це стан механічної системи, при якій діючі на систему зовнішні гравітаційне поле не викликає взаємного тиску однієї частини системи на іншу та їх деформації [1-7].

Невагомість виникає тоді, коли у тілах, що вільно рухаються, зникають додаткові деформації і взаємний тиск, людина (космонавт) перестає відчувати рух і свою вагу.

Це відбувається тоді, коли тіло рухається з прискоренням, що спрямовано вниз і чисельно дорівнює прискоренню вільного падіння.

У зв'язку з істотною відмінністю умов невагомості від земних умов, у яких створюються і відла-

годжуються прилади і агрегати штучних супутників Землі, космічних кораблів і їх ракет-носіїв, проблема невагомості займає важливе місце серед інших проблем космонавтики. Це найбільш важливо для систем із внутрішніми об'ємами, частково заповненими рідиною.

До таких систем відносяться рухомі установки з рідинними ракетними двигунами (рідинні реактивні двигуни), що призначені для багатократної активності в умовах космічного польоту, механізми космічного корабля (для відкривання сонячних панелей, антен, для стикування тощо), що призначені для роботи в умовах невагомості.

Крім цього, невагомість може бути використана для реалізації деяких технологічних процесів, які важко або неможливо реалізувати в земних умовах (наприклад, отримання композитних матеріалів з однорідною структурою за усім об'ємом, отримання тіл точної сферичної форми з розплавленого матеріалу за рахунок сил поверхневого натягу тощо).

Найбільш зручним і перспективним способом визначення інерціальної ваги тіла в умовах невагомості вважається використання різного роду осциляторів та приладів, що дозволяють вимірювати параметри тіла, що коливається [1-7]. Наприклад, тіло фіксується між двома пружинами, його відхиляють від положення рівноваги і вимірюють характеристики коливань пружної системи з приєднаною до неї тіла космонавта (об'єкта).

Колівання відбуваються під дією виникаючих сил пружності. При вимірюванні ваги використовують закон Гуку.

Наприклад, для зважування тіла космонавта в умовах невагомості для станцій «Салют» і «Мир» та Міжнародної космічної станції (МКС) розроблено спеціалізований стілець «ИМ-01М», у якому враховується залежність періоду коливань пружини від ваги закріпленого на ній тіла космонавта [8, 9, 11].

В той же час, відомий метод визначення ваги тіла космонавта в умовах невагомості, який аналізує форму і розміри людини, а також його рухи [10]. За отриманими параметрами з використанням статистичної моделі, що побудована на основі аналізу антропометричних даних 28 тис. чоловік, визначають вагу тіла космонавта. Таким чином, детальне вивчення напрямку визначення ваги тіла в умовах невагомості дуже важливе.

Сили тяжіння діють на усі частки тіла у стані невагомості, але на поверхню тіла не діють зовнішні сили (наприклад, реакції опори тощо), які могли б викликати взаємний тиск часток одна на другу. Подібне явище спостерігається для тіл, що розташовані на штучному супутнику Землі (космічному кораблі). Такі тіла і усі їх частки, отримавши відповідну початкову швидкість разом із супутником, рухаються під дією гравітаційних сил зі своїх орбіт з рівними прискореннями, неначе вільні, не чинячи взаємного тиску одна на одну, тобто вони знаходяться у стані невагомості. Подібно до тіла у ліфті, на них діє сила тяжіння, але на поверхні тіл не діють зовнішні сили, які могли б викликати взаємний тиск тіл або їх часток одна на другу.

Отже, тіло під впливом зовнішніх сил знаходиться у стані невагомості, якщо:

- зовнішні сили діють тільки масивно (гравітаційні сили);
- поле цих масованих сил локальне й однорідне, тобто сили поля надають усім часткам тіла у кожному з його положень однакову величину і напрям прискорення;
- початкові швидкості усіх часток тіла однакові за величиною і напрямом (рухається вперед).

Таким чином, будь-яке тіло, розміри якого малі у порівнянні з радіусом Землі, здійснюючи вільний поступальний рух у гравітаційному полі Землі, у відсутності зовнішніх сил, буде знаходитися у стані невагомості. Результат буде аналогічним для руху у гравітаційному полі будь-яких інших небесних тіл.

У техніці і побуті широко використовується поняття ваги тіла – сумарна сила пружності, що діє при наявності сили тяжіння на усі опори та підвіси. Вага тіла, як відомо, є мірою його інерційності. У земних умовах інерційність тіла проявляється при дії прискорення вільного падіння g . У разі невагомості вагу тіла можливо визначити під час створення штучного прискорення. При цьому, можуть бути використані різні способи його реалізації (шляхом створення рівноприскореного обертального руху).

На даний час на борту МКС для зважування тіла космонавта (астронавта) використовується спеціалізований стілець на пружинах, який розгойдують за допомогою спеціальних моторів з вивіреною зусиллям (рис. 1) [8, 9].



Рис. 1. Зовнішній вигляд вимірювача ваги тіла космонавта і малої ваги у невагомості «ИМ-01М»
(Fig. 1. Original Appearance of the astronaut's body weight meter and small weight of cosmonaut is in the weightlessness of «ИМ-01М»)

Частота коливань стільця залежить від ваги вантажу так, що космонавту (астронавту) досить зробити декілька коливань, щоб через півхвилини електроніка порахувала і видала результат зважування. При цьому, використовується залежність періоду коливань пружини від ваги закріпленого на ній тіла. Вимірювач ваги тіла і малої ваги у невагомості

«ИМ-01М» має власну вагу, що складає 11 кг. Модернізований варіант даного вимірювача, що вико-

ристовується і знаходиться зараз на МКС, представлено на рис. 2.



Рис. 2. Використання модернізованого варіанта «ИМ-01М» на борту МКС
(**Fig. 2.** There is the use of the modernized variant of «ИМ-01М» on board International space station)

Вимірювач побудований за схемою гармонійного осцилятора. Як відомо, період вільних коливань вантажу на пружині залежить від його ваги.

Таким чином, система осцилятора перераховує на вагу період коливань спеціальної платформи з розміщеним на ній космонавтом (або будь-яким іншим предметом (пристроєм)). Тіло, вагу якого потрібно виміряти, закріплюють на пружині таким чином, щоб воно могло здійснювати вільні коливання уздовж вісі пружини [11].

Вимірювач виглядає як «стілець» та складається з чотирьох основних частин:

- платформи, на якій розміщується космонавт (верхня частина);
- основи, яка кріпиться до «підлоги» станції (нижня частина);
- стійки та механічної середньої частини;
- електронного блоку вимірювання показань.

У нижній частині стійки закріплені магнітоелектричний датчик, що фіксує період коливання рухомої системи. Датчик автоматично враховує тривалість періоду коливань з точністю до тисячної частки секунди. Отже, частота коливань «стілця» залежить від ваги вантажу (космонавта).

Також, існує метод визначення ваги тіла космонавтів, який працює швидко та не вимагає відвернення уваги людини [10]. Кармело Велардо з інституту Eugesom розробив незвичайну систему зважування астронавтів і космонавтів там, де власне ваги то й немає та звичайні ваги працювати не можуть. Вчений вирішив задіяти можливості камери Kinect.

Цей прилад відчуває глибину об'єктів, сцени і використовується як ігровий контролер.

У системі Велардо така камера допомагає будувати тривимірну цифрову модель тіла людини, що потрапила у поле зору об'єктиву. Придуманий винахідником і його співавторами софтвер аналізує форму і розміри людини, а також його рухи. Далі, отримані параметри визначаються у вагу з використанням статистичної моделі, що побудована на основі аналізу антропометричних даних 28 тис. чоловік.

За заявою автора, точність визначення ваги тіла космонавта за його методом складатиме 97 %, що відповідає похибці у 2,5-3 кг. Це не так вже погано, оскільки у ході космічного польоту члени екіпажу станції можуть втрачати до 15 % ваги тіла.

Система зважування Велардо зможе доповнити вимірювач ваги «ИМ-01М». Річ не лише у тому, що для зважування людині досить буде просто проплисти перед об'єктивом. Камера не займе багато місця на станції і не вимагає багато енергії для її роботи. Такій системі можна довірити безперервний контроль за вагою усього екіпажу космічної станції.

Фахівці, проте, вказують, що мікрогравітація приводить до деякого перерозподілу води в тілах астронавтів. Так, що для визначення їх ваги на око необхідно враховувати цей ефект. Велардо, втім, зможе підкоригувати свій алгоритм. Дослідник збирається провести випробування технології у невагомості – на борту літака, що летить по параболі.

Розглядаючи безліч об'єктів, які будуть піддаватися контролю, слід зазначити, що вони є конструктивно суцільними. У об'єктів, що готуються до відправки з орбіти на Землю, є різні порожнини, що заповнені або рідким наповнювачем, або рухомими елементами. При коливаннях об'єкта такі «несуцільності» викликать дисипативні сили, які, у свою

чергу, будуть демпфувати коливання динамічної системи. У такому випадку, похибка у реальній частоті власних коливань буде досить значною, що позначиться на точності зумовлених вагових характеристик об'єкта контролю.

Вирішення даного завдання можливо на випробувальних установках, у конструкції яких враховано специфіку випробувань.

Так, наприклад, сконструйовано установку, у якій поряд з вертикальними циклічними переміщеннями об'єкт контролю обертається навколо вісі рухомого якоря динамічної системи. Основна вимога, якій мають задовольняти подібні установки, полягає у тому, що з дотримання «чистоти» експерименту, порушення динамічної системи у своїх частотах має бути безконтактним.

Найбільш просто можна визначити інерційність тіла, включивши його у коливальний процес, а як кількісний захід використовувати зміну частоти власних коливань. Вагу тіла космонавта, при цьому, можливо визначити після відповідного тарування приладу в земних умовах.

Розроблено і запропоновано пристрій для визначення ваги тіла космонавтів і об'єктів малої ваги в умовах невагомості, що представлений у вигляді пружно-вагової схеми, що зображена на рисунку 1, де: F_0 – сила попередньої затяжки пружини; C – жорсткість пружин; m – маса тіла; $P(t)$ – сила, що збуджує; X – величина відхилення від положення рівноваги.

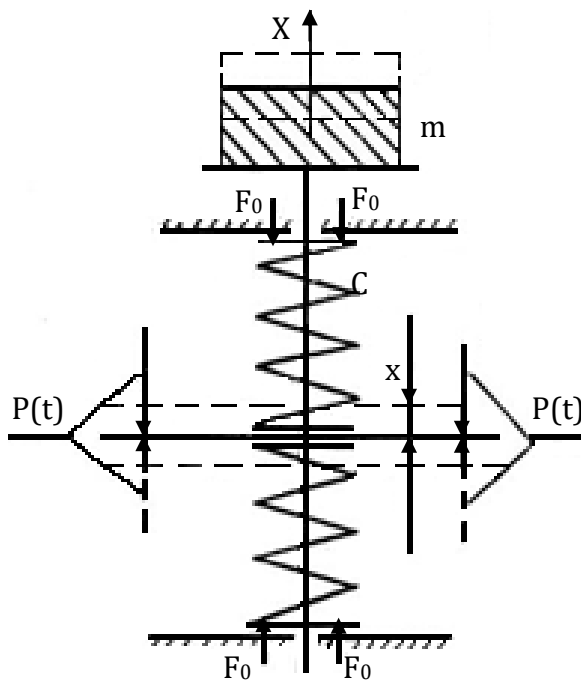


Рис. 3. Пружно-вагова схема пристрою для визначення ваги тіла космонавтів і об'єктів малої ваги в умовах невагомості

(Fig. 3. A Resiliently-gravimetric chart of device is for determining the weight of body of cosmonauts and objects small weight in the conditions of weightlessness)

Принцип дії даного пристрою заснований на зміні частоти власних коливань динамічної системи

від наявності приєднаної ваги тіла космонавта (об'єкта малої ваги). Частота власних коливань, обрана як основний діагностичний параметр, що дозволяє з високою точністю визначати вагу приєднаного до динамічної системи вантажу, що коливається.

За умови, якщо з достатньою точністю буде встановлений взаємозв'язок ваги об'єкта випробування з параметрами динамічної системи, які визначені при тарувальних випробуваннях пристрою, тоді вищезазначені цілі будуть досягнуті.

Конструкція динамічної системи, основними елементами якої є пружні елементи у вигляді металевих пружин, дозволяє проводити випробування не лише у невагомості, а й у земних умовах.

Тарування пристрою проводиться у земних умовах.

Конструктивне виконання пристрою дозволяє визначати вагу приєднаного об'єкта контролю у будь-якому положенні пристрою як «у вертикальному», так і у положенні «на боці».

Пружно-вагова схема є одноступеневим осцилятором, відносно якого можуть бути записані відповідні рівняння динаміки руху тіла космонавта вагою m .

Ідеалізація пристрою одноступеневою моделлю можлива у тому випадку, коли не враховується вплив ваги пружин та інших рухомих деталей (це має сенс, якщо вага пружин і рухомих деталей набагато менша за вагу m) та вважатиметься, що тіло m є абсолютно жорстким (коли тіло m значно жорсткіше пружин), а також суцільним, що не містить усередині рухомих елементів.

Крім того, рух тіла необхідно обмежити тільки у вертикальному напрямку, оскільки це не викликає розгойдування.

Несприятливі розгойдування у даній системі виключають рахунок великої згинальної жорсткості рухомого штока [2]. Дані припущення у реальній системі, звичайно, не можуть бути суворо дотримані.

Насправді, пружини і рухомі деталі мають вагу, а тіло m має пружність. Але, за умови якщо, з одного боку, тіло m досить жорстке і вага його більша за вагу рухомих деталей, а, з іншого боку, початкові умови сумісні з наведеними вище припущеннями, а саме – у початковий момент часу сама вага m відхилена від положення рівноваги у вертикальному напрямку або їй прикладена деяка початкова швидкість (тільки у вертикальному напрямку), тоді, при допущеній ідеалізації завдання, можливо задовільно відповісти на питання руху усієї ваги у цілому.

За умови, якщо обидві пружини попередньо напружені.

Тоді, кожна із пружин впливає на вагу m відповідно із наступною силою (рис. 3):

$$F_{C1} = F_0 + cx, F_{C2} = F_0 - cx. \quad (1)$$

Сили F_{C1} та F_{C2} спрямовані протилежно таким чином, що на вагу діє їх різниця:

$$F_C = F_{C2} + F_{C1} = -2cx. \quad (2)$$

Рівняння руху такого простого осцилятора виходить із умови рівноваги сил, що прикладені до ваги m :

$$m\ddot{x} + 2cx = P(t) - F_d, \quad (3)$$

де F_d – демпфуюча сила.

Використовуючи схему з позитивним зворотним зв'язком та при реалізації умови:

$$P(t) - F_d = 0,$$

можливо отримати рівняння вільних коливань лінійного осцилятора:

$$m\ddot{x} + 2cx = 0. \quad (4)$$

Тоді, умову рівноваги $\sum F = 0$ [1], при відомій $F = mg$, можливо записати у такому вигляді:

$$m\ddot{x} + 2cx - mg = 0. \quad (5)$$

Останній член рівняння (5) залежить від x . Його можна виключити перетворенням координат:

$$x = \xi + x_0, \quad \ddot{x} = \ddot{\xi}. \quad (6)$$

де $x_0 = \frac{mg}{2c}$ – переміщення ваги під дією g .

Отже, рівняння руху зводиться до наступного вигляду:

$$\xi + 2c\xi = 0. \quad (7)$$

Таким чином, рівняння (7), що описує рух осцилятора у полі тяжіння земного, аналогічно рівнянню (4). Надалі, цей результат можна використати для обґрунтування тарування приладу у земних умовах.

З теорії механічних коливань відомо, що частота власних коливань ω пов'язана з жорсткістю C пружин та вагою m наступною залежністю:

$$\omega = \sqrt{\frac{2c}{m}}. \quad (8)$$

Жорсткість C пружин можливо визначити за використанням статичної характеристики $c = tg\alpha$ залежності $F = f(x)$ (рис. 4).

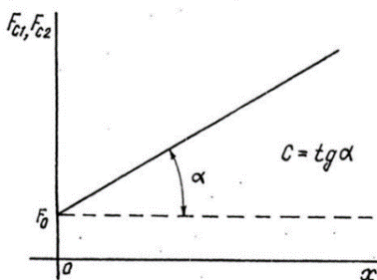


Рис. 4. Графік визначення жорсткості пружини (Fig. 4. Graph of determination of inflexibility of spring)

При відомих жорсткості C пружин і частотах власних коливань ω вагу тіла m можливо визначити за наступною формулою:

$$m = \frac{2c}{\omega^2}. \quad (9)$$

Графічно (9) при різних C має вигляд, який представлено на рис. 5.

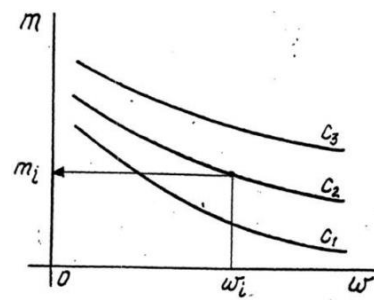


Рис. 5. Графік визначення ваги тіла (Fig. 5. Graph of determining the weight of body)

Таким чином, за умови, якщо на контрольному приладі для даної m_i зафіксована частота ω при відомій жорсткості C , тоді величина ваги тіла m може бути визначена за монограмою (рис. 5).

Однак, прилад повинен бути попередньо відтарований у земних умовах відомою вагою $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_n$ при відомій жорсткості C .

За отриманими даними будується залежність

$$m = f(\omega, c),$$

характер якої приведено на рис. 6.

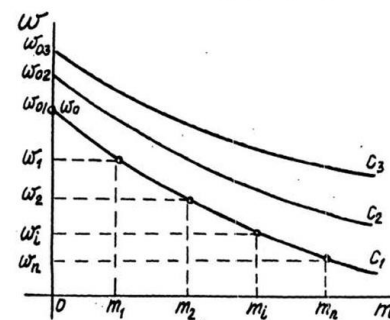


Рис. 6. Графік визначення ваги тіла (Fig. 6. Graph of determining the weight of body)

Дані тарувальні криві, що отримані в умовах земного тяжіння, можуть надалі використовуватися без зміни для практичних цілей визначення ваги тіла космонавта в умовах невагомості.

Підвищити точність визначення ваги m можна за рахунок зміни жорсткості C . Використовуючи наведену залежність $m = f(\omega, c)$ (рис. 7), можна як визначати вагу тіла космонавта, так й контролювати його стан (неоднорідність).

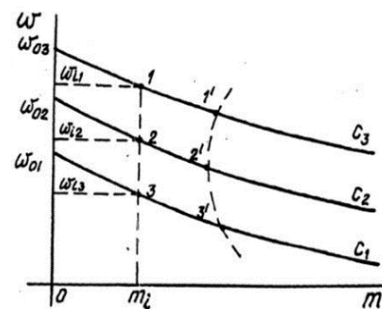


Рис. 7. Графік визначення ваги тіла (Fig. 7. Graph of determining the weight of body)

У цьому випадку, варіюючи жорсткість пружин, можливо отримати експериментальні точки 1, 2, 3, ..., що відповідають частотам, ω_{i1} , ω_{i2} , ω_{i3} , ...

За умови, якщо експериментальні точки лежать у одній вертикалі, то, це відповідатиме вазі m_i , причому, вага m_i є суцільною – не містить усередині рухомих елементів.

За умови, якщо тіло космонавта (об'єкт контролю) містить якісь рухомі елементи (рідина), тоді цей факт може бути встановлений тим, що точки 1ⁱ, 2ⁱ, 3ⁱ, ... не будуть лежати на єдиній вертикалі, а отримають якісь відхилення від неї (рис. 7).

Наявність даного факту підтверджує невідповідність припущення про суцільність ваги m та розгляд її як одноступеневої.

У такому випадку приведення ваги m до одноступеневої можливо за умови, якщо причиною системи (із закріпленою на ній вагою m) є обертання навколо вісі рухомого стержня з одночасним збудженням власних коливань.

Тоді, дисипативні сили рухомих елементів будуть виключені за рахунок відцентрових сил, а частота власних (авторезонансних) коливань ω_i буде наближена до реальної, яка відповідатиме вазі m_i [1 – 5].

За результатами проведених досліджень розроблено експериментальну установку для визначення ваги тіла космонавтів і об'єктів малої ваги в умовах невагомості, що основана на збудженні коливань динамічної системи з власною частотою.

Зазначена експериментальна установка призначена для визначення ваги об'єкта в умовах невагомості за зміною частоти власних коливань динамічної системи залежно від ваги приєднаного вантажу та зміни жорсткісних параметрів пружних елементів.

Установка виконана на основі останніх досягнень наукової думки та може успішно застосовуватися на орбітальних космічних станціях для цілей експлуатаційних та наукових досліджень.

Розроблена динамічна система має наступні переваги. Вона дозволяє наблизити умови експерименту до умов, що близькі до експлуатаційних. Магнітодинамічна система коливань є безконтактною і, таким чином, виключає вплив системи впливу на частоту власних коливань динамічної системи, з якою жорстко пов'язаний об'єкт контролю. Це особливо важливо для «чистоти» експерименту.

Динамічні параметри реєструються системою реєстрації частоти власних (авторезонансних) коливань, що виконана з поєднанням електронно-рахункового частотоміра та бортової електронно-обчислювальної машини.

Застосування додаткових пристроїв та засобів контролю дозволяє реєструвати амплітуду коливань і енергію імпульсів, які подаються на блоки електромагнітів, що є додатковими діагностичними параметрами.

Для запису контрольованих параметрів та характеристик циклічного навантаження використовуються серійні малогабаритні прилади та блоки (наприклад, підсилювач струму низької частоти).

Отже, установка дозволяє визначати не тільки вагу об'єкта, але й стан об'єкта контролю (його неоднорідність, наявність рідкого наповнювача, частин, що коливаються тощо).

Висновки

Таким чином, для визначення інерціальної ваги тіла космонавта в умовах невагомості активно використовуються різного роду осцилятори та прилади, що дозволяють вимірювати параметри тіла, яке коливається.

Вимірювач ваги «ИМ-01М» використовує залежність періоду коливань пружини від ваги закріпленого на ній тіла космонавта (астронавта).

Даний вимірювач може бути доповнений системою зважування космонавтів (астронавтів) за методом Кармело Велардо, який дозволяє отримати дані про глибину об'єкту вимірювання (форму, розміри космонавта і рухи).

Запропоновано метод визначення ваги тіла космонавтів (астронавтів) і об'єктів малої ваги в умовах невагомості та спосіб його реалізації за зміною частоти власних коливань динамічної системи, до якої жорстко закріплено об'єкт контролю.

Розроблено пружно-ваговий пристрій для проведення вимірювань ваги об'єкта контролю. Приведено схемо-технічне рішення пристрою, як одноступеневого осцилятора, стосовно якого можуть бути записані відповідні рівняння динаміки зміни ваги тіла космонавта за часом.

Розкрито принцип дії пристрою.

Приведені аналітичні вирази для визначення ваги тіла космонавта з урахуванням частоти власних коливань та жорсткості пружин.

Представлено отримані графіки за проведеннями розрахунками.

Розроблено експериментальну установку для визначення ваги тіла космонавтів і об'єкта малої ваги в умовах невагомості, що застосовує як діагностичний параметр частоту власних коливань.

Установка дозволяє визначати вагу об'єкта контролю і його стан (неоднорідність, наявність рідкого наповнювача, частин, що коливаються тощо).

Дана установка може бути застосована на орбітальних космічних станціях.

REFERENCES

1. Eiderman, V.L. (1980), *Teoriya mekhanicheskikh kolebaniy* [Theory of mechanical oscillations], Higher school, Moscow, 408 p.
2. Ananiev, I.V. & Colvin, N.M. (1969), *Vliyaniye mestnoy zhestkosti sterzhney na chastotu sobstvennykh kolebaniy* [Influence of local rigidity of rods on the frequency of natural oscillations], Aviation industry, 120 c.

3. Mikishev, G.N. & Rabinovich, B.I. (1968), *Dinamika tverdogo tela s polostyami, chastichno zapolnennymi zhidkost'yu* [Dynamics of a rigid body with cavities partially filled with liquid], Mashinostroenie, Moscow, 532 p.
4. Romyantsev V.V. (1957), *Ustoychivost' vrashcheniya tverdogo tela s ellipsoidal'noy polost'yu, napolnennoy zhidkost'yu* [Rotation stability of a rigid body with an ellipsoidal cavity filled with liquid], *Applied mathematics and mechanics*, Vol. 21, no. 6, pp. 740-748.
5. (1980), "Т. 3. Kolebaniya mashin, konstruksiy i ikh elementov [Vol. 3. Oscillations of machines, structures and their elements]", *Vibratsiya v tekhnike* [Vibration in technology]: Handbook in 6 volumes, Mashinostroenie, Moscow, 544 p.
6. Chandaeva, S.A. (1994), *Physics and people*, AT "Aspect Press", Moscow, 136 p.
7. (2021), *Vaha tila i nevahomist'* [Body weight and weightlessness], available at: <http://um.co.ua/13/13-7/13-72477.html>.
8. (2021), *Kosmicheskiye vesy* [Space scales], available at: <https://habr.com/ru/post/379349/>.
9. (2021), *Kak vzveshivayut lyudey v nevesomosti na MKS* [How people are weighed in zero gravity on the ISS], available at: https://pikabu.ru/story/kak_vzveshivayut_lyudey_v_nevesomosti_na_mks_6083503.
10. (2021), *Izobreten beskontaktnyy sposob vzveshivaniya lyudey v nevesomosti* [Invented a non-contact method of weighing people in zero gravity], available at: <https://www.unn.com.ua/ru/news/573532-vinaydeno-bezkontaktniy-sposib-zvageuvannya-lyudey-v-nevagomosti>.
11. (2021), *Izmeritel massy tela v nevesomosti* [Weightless body mass meter], available at: http://wiki-org.ru/wiki/Измеритель_массы_тела_в_невесомости.
12. Bezrodny D.A. (2017), *Hravimetriya. Knyha 1. Teoretychni osnovy hravimetriyi* [Gravimetry. Book 1. Theoretical foundations of gravimetry], Taras Shevchenko National University, Kyiv, 188 p., available at: <http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/gravimetriya1.pdf>.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Еидерман В.Л. Теория механических колебаний. М.: Высшая школа, 1980. 408 с.
2. Ананьев И.В., Колвин Н.М. Влияние местной жесткости стержней на частоту собственных колебаний. М.: Авиапромышленность, 1969. 120 с.
3. Микишев Г.Н., Рабинович Б.И. Динамика твердого тела с полостями, частично заполненными жидкостью. М.: Машиностроение, 1968. 532 с.
4. Румянцев В.В. Устойчивость вращения твердого тела с эллипсоидальной полостью, наполненной жидкостью. Прикладная математика и механика. 1957. Т. 21, вып. 6. С. 740-748.
5. Вибрация в технике. Справочник в 6 томах. Т. 3. Колебания машин, конструкций и их элементов. М.: Машиностроение, 1980. 544 с.
6. Чандаева С. А. Физика і человек. М.: АТ «Аспект Пресс», 1994. 136 с.
7. Вага тіла і невагомість. 2021. URL: <http://um.co.ua/13/13-7/13-72477.html>.
8. Космические весы. 2021. URL: <https://habr.com/ru/post/379349/>.
9. Как взвешивают людей в невесомости на МКС. 2021. URL: https://pikabu.ru/story/kak_vzveshivayut_lyudey_v_nevesomosti_na_mks_6083503.
10. Изобретен бесконтактный способ взвешивания людей в невесомости. 2021. URL: <https://www.unn.com.ua/ru/news/573532-vinaydeno-bezkontaktniy-sposib-zvageuvannya-lyudey-v-nevagomosti>.
11. Измеритель массы тела в невесомости. 2021. URL: http://wiki-org.ru/wiki/Измеритель_массы_тела_в_невесомости.
12. Безродний Д.А. Гравіметрія. Книга 1. Теоретичні основи гравіметрії. К.: КНУ імені Тараса Шевченка, 2017. 188 с. URL: <http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/gravimetriya1.pdf>.

Received (Надійшла) 14.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.05.2022

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Коломійцев Олексій Володимирович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

Oleksii Kolomiitsev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department «Computer engineering and programming» of National Technical University is the «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Alexus_k@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8228-8404>.

Комаров Володимир Олександрович – кандидат технічних наук, начальник науково-дослідного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна;

Volodumyr Komarov – candidate of technical sciences, Chief of research department of the Central research institute of armament and military technique of Military Powers of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
e-mail: Komarov.cndi@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4929-4527>.

Дмітрів Олег Миколайович – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри Льотної академії Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна;

Oleh Dmitriiev – Doctor of technical sciences, associate professor, the head of department of Flight Academy of the National Aviation University, Kropyvnytskyi, Ukraine;
e-mail: Dmitronik70@i.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1079-9744>.

Пустоваров Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, начальник групи харківського представництва генерального замовника – Державного космічного агентства України, Харків, Україна;

Volodumyr Pustovarov – candidate of technical sciences, chief of group of the Kharkov representative office of general customer – the State space agency of Ukraine, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: pustovarov78volodymyr@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3944-5771>.

Олійник Руслан Михайлович – начальник науково-дослідного відділу Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна;

Ruslan Oliinyk – Chief of Section of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine;

e-mail: o.ruslan77@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3969-544X>.

Method for controlling the frequency of eigentones for determination of the astronaut's body weight and small weight in weightlessness

Oleksii Kolomiitsev, Volodumyr Komarov, Oleh Dmitriev, Volodumyr Pustovarov, Ruslan Oliinyk

Abstract. In the article the analysis of existent basic methods of determining the weight of body of cosmonauts and objects small weight is conducted in the conditions of weightlessness, and their features of application are similarly exposed. The most comfortable and perspective method of determining the inertial weight of body in the conditions of weightlessness the use of different sort of oscillators and devices, that allow to measure the parameters of body of cosmonaut (small weight of devices and others like that), that hesitates, is considered. It is possible to use dependence of period of vibrations of spring on b.w. of cosmonaut envisaged on her and others like that. The measuring device of weight of «ИМ-01М», his technical descriptions, composition and principle of action, is considered. Such measuring device it may be to complement the system of weighing of astronauts and cosmonauts on the method of Karmelo Velardo, that allows to get measuring (form and sizes of cosmonaut and his motions) given about the depth of object. **The object of research** is oscillators and devices, that allow to measure parameters bodies of cosmonaut and objects small weight, that hesitate. **The subject of research** is a mathematical vehicle on determination of frequency of eigentones dynamic system. **The research aims** is development of method of control of frequency of eigentones for determining the weight of body of cosmonaut and objects small weight in the conditions of weightlessness. **Conclusions.** The method of determining the weight of body of cosmonauts and objects small weight in the conditions of weightlessness and method of his realization are offered on the change of frequency of eigentones dynamic system devices. Analytical expressions for the calculation of frequency of eigentones dynamic system devices and corresponding charts are presented. A spring-gravimetric device is worked out for realization of measuring. A chart technical decision over of device is brought, his composition and principle of action are exposed. A device is able to define weight of control object, his state (his heterogeneity, presence of liquid filler, parts that hesitate and others like that).

Keywords: weightlessness; bodyweight of cosmonaut; dynamic system, frequency of eigentones; oneseated oscillator; spring-gravimetric device.

Метод контроля частоты собственных колебаний для определения массы тела космонавта и малых масс в условиях невесомости

А. В. Коломийцев, В. А. Комаров, О. Н. Дмитриев, В. В. Пустоваров, Р. М. Олейник

Аннотация. В статье проведен анализ существующих основных методов определения массы тела космонавтов и объектов малых масс в условиях невесомости, а также раскрыты их особенности применения. Наиболее удобным и перспективным способом определения инерциальной массы тела в условиях невесомости считается использование разного рода осцилляторов и приборов, позволяющих измерять параметры колеблющегося тела космонавта (малой массы приборов и т.д.). Можно использовать зависимость периода колебаний пружины от массы тела космонавта, закрепленного на ней и т.д. Рассмотрен измеритель массы «ИМ-01М», его технические характеристики, состав и принцип действия. Такой измеритель, возможно, может быть дополнен системой взвешивания астронавтов и космонавтов по методу Кармело Велардо, который позволяет получить данные о глубине объекта измерения (форму и размеры космонавта и его движения). **Объектом исследования** являются осцилляторы и приборы, которые позволяют измерять параметры колеблющегося тела космонавта и объектов малых масс. **Предметом исследования** является математический аппарат определения частоты собственных колебаний динамической системы. **Целью научной работы** является разработка метода контроля частоты собственных колебаний для определения массы тела космонавта и объектов малых масс в условиях невесомости. **Выводы.** Предложен метод определения массы тела космонавтов и объектов малой массы в условиях невесомости и способ его реализации по изменению частоты собственных колебаний динамической системы устройства. Представлены аналитические выражения для расчета частоты собственных колебаний динамической системы устройства и соответствующие графики. Разработано пружинно-весовое устройство для проведения измерений. Приведено схемо-техническое решение устройства, раскрыт его состав и принцип действия. Устройство способно определить массу объекта контроля, его состояние (неоднородность, наличие жидкого наполнителя, частей, которые колеблются и т.д.).

Ключевые слова: невесомость; вес тела космонавта; динамическая система; частота собственных колебаний; одноступенчатый осциллятор; пружинно-весовое устройство.