

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ ДО МЕХАНІЧНИХ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ

© Матвійків М.Д., Матвійків Т.М., 2014

Розглянуто взаємодоповнювальні способи підвищення стійкості електронних апаратів (ЕА) до дії ударів та вібрацій, які за механічних впливів є основними дестабілізуючими факторами. В разі механічних ударів інерційне перевантаження становить 5..15 одиниць. У багатьох випадках верхня границя енергетичного спектра прискорень досягає 50..150 м/с². Під час ударів і вібрацій в елементах ЕА і, передусім, у контактах виникають незворотні зміни, які закінчуються руйнуванням. Оскільки повністю позбутись впливу механічних дестабілізуючих факторів не вдається, то необхідно приймати рішення про можливість підвищення стійкості електронних засобів. Комплексний підхід означає одночасне застосування декількох відомих засобів підвищення стійкості ЕА до ударів та вібрацій. Дослідження показали, що саме такий підхід дає найкращі результати.

Ключові слова: вібрація, удар, амортизатор, демпферна прокладка, бурова колона, інерційне перевантаження, енергетичний спектр, електронна апаратура.

M.D. Matviykov, T.M. Matviykov
Lviv Polytechnic National University

COMPLEX APPROACH FOR IMPROVEMENT STABILITY OF ELECTRONIC DEVICES TO MECHANICAL DESTABILIZING FACTORS

© Matviykov M.D., Matviykov T.M., 2014

The paper considers complex ways to improve the stability of electronic devices (ED) to shocks and vibrations, which are the main destabilizing factors among mechanical effects. In mechanical shock, the inertial overload may reach up to 5..15 units. In many situations, the upper limit of the energy spectrum of acceleration reaches 50..150 m/s². Such large inertial overload very quickly (in tens or hundreds of beats) causes the destruction of regular ED. Vibrations are general companion of shocks, or may be generated by regular sources, like propellers, moving vehicles or various motor devices - electrical, mechanical or internal combustion engine.

In the presence of shocks and vibrations, in the elements of ED and, most of all, in their contacts appears irreversible changes that finally lead to the destruction. Engineers are trying to mitigate the impact of shocks and vibrations. Since the influence of mechanical destabilizing factors on the ED can not be completely solved, it is necessary to make decision on the possibility of increasing the stability of electronic devices. Various studies have shown that a differential approach, that concentrates on the use of only certain types of compensations for mechanical effects, such as shock absorbers, damper pads, various gels - do not give the desired results. At-first, they do not eliminate the influence of mechanical factors completely, and, secondly, they increase the weight and overall indicators of ED. On the contrary, an integrated complementary approach means the simultaneous use of several known means for increasing the stability of ED to highly energetic shocks and vibrations.

A complex approach means the simultaneous use of several, supported each other, technical means of increasing the stability of ED to shocks and vibrations. The regular practice is following: ready ED are placed on dampers, matched according to their weight, operating conditions and the nature of mechanical forces, which that reduces the negative effect of mechanical destabilizing factors. The second set of questions concerns the choice of components mounting technics. Currently, for the connection of electrical elements most manufactures use sital, ceramic or polyimide substrates – they have a higher resistance to shocks and vibrations.

The results of our research shows that: 1. Drilling columns at low frequency has large amplitude oscillations, and, hence, a wide energy range, which cause rapid destructions, primarily – electronic tools, and drilling telemetry systems, as well. 2. Wide studies have shown that only a complementary approach can improve the stability of ED and provide the best results in case of aggressive mechanical destabilizing factors.

Key words: vibration, shock, absorber, damper, damping pad, drilling column, inertial overload, power spectrum, electronic device.

Вступ. Перевізним ЕА цивільного і, особливо, військового та космічного призначення, а також тим, які входять до складу бурових систем, доводиться працювати в умовах дії ударів величиною $\approx 50\text{--}150\text{ g}$ і вібрацій частотою $\approx 1\text{--}2000\text{ Гц}$, енергетичний спектр прискорення яких сягає $10\text{--}20\text{ g}$ (табл. 1) [1, 2].

Таблиця 1

**Частотні та енергетичні характеристики вібрацій,
генерованих різними транспортними засобами**

Транспортні засоби	Верхня границя смуги частот, Гц	Верхня границя енергетичного спектра прискорень, g
Автомобілі, танки, кораблі	100	5
Літаки	300	10
Ракети	2 000	20
Бурові колони	10	30 [*]

** Високе значення енергетичного спектра за малої частоти коливань спочатку отримано розрахунковим способом з використанням моделі фізичного маятника, а пізніше підтверджено експериментально із застосуванням акселерометра. Воно пояснюється специфікою процесу буріння та великою амплітудою коливань, яка досягає $10g$ і більше.*

Ступінь механічного перевантаження за отриманих ЕА прискорень a можна оцінити коефіцієнтом інерційного перевантаження j , який визначається із виразу:

$$j = \frac{a}{g}, \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння.

Легко зрозуміти, що за $a \approx 50\text{--}150\text{ g}$, яке відзначається під час ударів

$$j = \frac{a}{g} \approx \frac{50\text{--}150}{10} \approx 5\text{--}15. \quad (1a)$$

Тобто під час ударів інерційне перевантаження становить $5\text{--}15$ одиниць. Таке велике інерційне перевантаження дуже швидко (за десятки – сотні ударів) викликає руйнування ЕА.

У разі вібрацій, як видно із табл. 1, перевантаження менші:

$$j = \frac{a}{g} \approx \frac{5\text{--}20}{10} \approx 0,5\text{--}2,0, \quad (1б)$$

але, врахувавши, що за неперервно діючих вібрацій в елементах виникають пружні деформації, які нагромаджуються, поступово трансформуються в пластичні, то можна зробити висновок, що вібрації теж спричиняють руйнування ЕА, хоча не так швидко, як удари.

Оскільки під час транспортування, буріння та інших подібних процесів повністю позбутись впливу механічних дестабілізуючих факторів не вдається, то ресурс їх роботи, незважаючи на велику позитивну динаміку, все ж залишається низьким. Це наочно ілюструє табл. 2, побудована на основі обробки статистичного матеріалу деяких бурових компаній за останні 27 років.

Таблиця 2

**Динаміка позитивних змін ресурсу роботи
бурових телеметричних систем**

Рік	Ресурс, Г/В
1985	50
1990	250
1995	600
2000	1000
2010	1600
2012	2000

Комплексний підхід. Відомі різні способи підвищення стійкості електронних засобів до ударів та вібрацій, але проведені дослідження показують, що найбільшого ефекту досягають за комплексного підходу до цієї проблеми. Комплексний підхід означає одночасне застосування декількох відомих засобів підвищення стійкості ЕА до ударів та вібрацій. Найчастіше готові ЕА ставлять на амортизатори, підібрані відповідно до їх ваги, умов експлуатації та характеру механічних впливів, які послаблюють негативну дію механічних дестабілізуючих факторів. За такого підходу не розв'язується проблема комплексної мікромініатюзації, бо великогабаритні та важкі ЕА потребують таких самих великогабаритних і важких амортизаторів, які зводять нанівець зусилля зі зменшення ваги та габаритів електронних засобів. Це безпосередньо впливає із виразу для жорсткості амортизаторів k , від якої залежать розміри останніх:

$$k = \frac{P}{Z_{CT}}, \quad (2)$$

де P – навантаження на амортизатор; Z_{CT} – статичний прогин амортизатора.

Навантаження на амортизатор P визначається вагою ЕА P_{EA} і кількістю амортизаторів, на які встановлено ЕА n , тобто:

$$P = \frac{P_{EA}}{n}. \quad (3)$$

Статистичний прогин амортизатора Z_{CT} залежить від його резонансної частоти f_0 і визначається за номограмою, яку наводять в довідниках. Вона має вигляд, зображений на рис. 1.

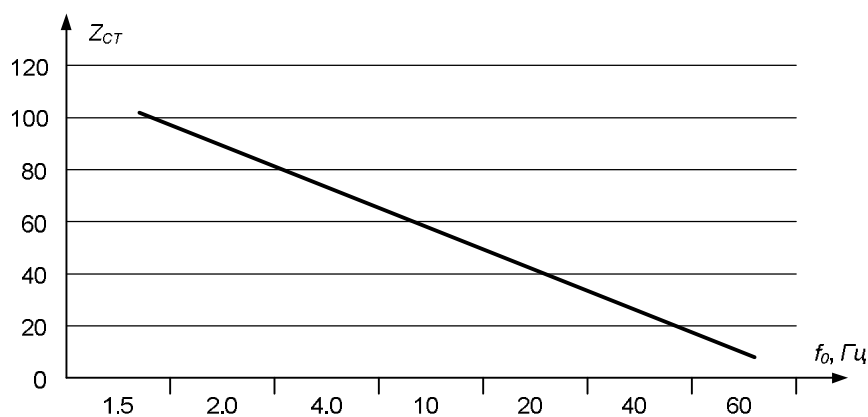


Рис. 1. Залежність статистичного прогину амортизатора від його резонансної частоти

Жорсткість амортизатора k можна визначити також за номограмою, яка теж наводиться в довідниках. Номограма виражає для різних k залежність навантаження P від k (рис. 2).

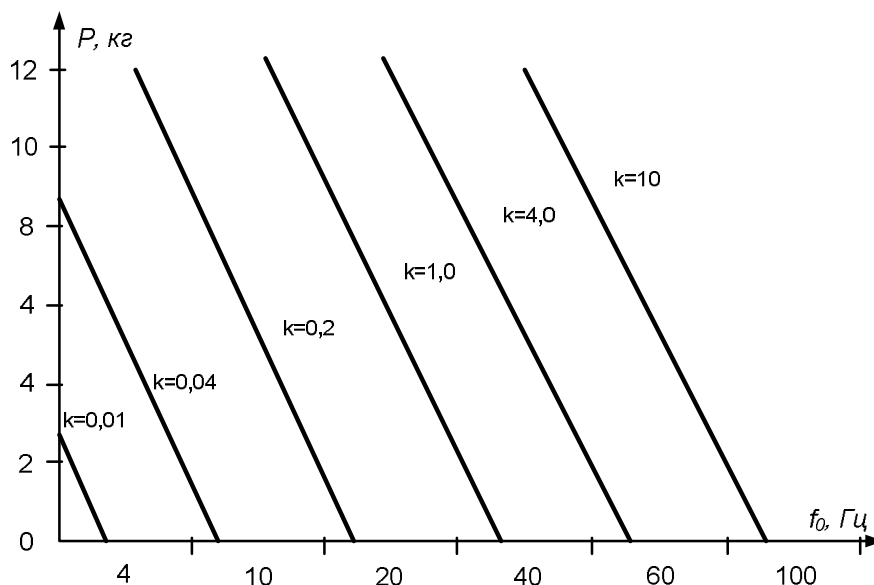


Рис. 2. Залежність жорсткості амортизатора k від навантаження P та резонансної частоти f_0

На наш погляд, перспективним способом підвищення стійкості ЕА до механічних дестабілізуючих факторів є зменшення їх ваги $P_{\text{ЕА}}$. З виразу (2) видно, що чим менша вага ЕА, тим менше навантаження на амортизатори P , тим меншою може бути їх жорсткість (рис. 2), а отже, меншою буде їх вага.

Зменшувати вагу ЕА, а отже, підвищувати їх стійкість до механічних дестабілізуючих факторів, можна вже на етапі розроблення конструкцій. Аналіз різних конструкційних рішень показує, що перспективними є такі:

1. Належний підбір елементної бази ЕА.
2. Вибір способів монтажу елементної бази.
3. Вибір способів захисту ЕА від дії навколишнього середовища.

- Широке використання в ЕА схем на уніполярних транзисторах, які порівняно зі схемами на біполярних транзисторах мають більшу щільність компонування елементів і вищий ступінь інтеграції. Вони викликані меншими, майже на порядок, розмірами транзисторів, відсутністю ізолювальних р-п-переходів, можливістю безпосереднього з'єднання каскадів, зумовленого високими вхідними і вихідними опорами транзисторів, та наявністю багатошарової розводки, один з шарів якої виконаний дифузійними перемичками, придатними для малих струмів, характерних для уніполярних структур [3].

- Використання в ЕА мікромодулів, виготовлених на ситалових або керамічних підкладках, які, завдяки застосуванню у них безкорпусних напівпровідникових ІС, мають на порядок більшу щільність компонування елементів порівняно з аналогами, виконаними на корпусних ІС.

- Застосування в ЕА ІС, захищених пластмасовими корпусами, які порівняно з ІС, герметизованими металевими корпусами, мають приблизно в 2–3 рази меншу вагу.

Як відомо, сьогодні поряд з ІС в ЕА використовують певну кількість дискретних електрорадіоелементів. Останні через більші за інтегральні елементи вагогабаритні показники і необхідність застосування низьконадійних зварних, паяних та клеєвих контактів, якими вони з'єднуються із схеми, суттєво знижують стійкість ЕА до дії механічних дестабілізуючих факторів. Тому їх використання повинно бути обмеженим.

І останнє, що стосується елементної бази, це доцільність використання в ЕА функційних пристроїв (акустоелектронних і термоелектронних електрорадіоелементів), які, через відсутність в

них традиційних електричних елементів, мають високу надійність, а отже, високу стійкість до ударів і вібрацій.

Другий блок питань стосується вибору способів монтажу елементної бази. Сьогодні для електричного з'єднання елементів між собою використовують переважно мікроплати, виготовлені на сітлових, керамічних поліімідних підкладках. Завдяки меншим вагогабаритним показникам порівняно зі звичайними друкованими платами, виготовленими на текстолітовій або склотекстолітовій основі, а також іншими способами нанесення провідників (напилення, впалювання), вони мають вищу стійкість до ударів та вібрацій. На них монтують елементи з кульковими або стовпчиковими виводами методом поверхневого монтажу, який, на відміну від об'ємного монтажу, можна автоматизувати. Але в результаті поверхневого монтажу в жостких виводах виникають зрізуючі механічні напруження, які знижують стійкість контактів до ударів та вібрацій. Тому після монтажу необхідно здійснювати відпал мікроборок, який зменшує механічні напруження і за рахунок цього підвищує стійкість контактів до механічних дестабілізуючих факторів.

Вибір методу з'єднання залежить від того, чи покриті припоєм контактні площадки або жосткі виводи. Якщо покриті, то застосовують пайку, а якщо не покриті, то термокомпресійну зварку. Як відомо, у зварних з'єднань вища механічна міцність, ніж у паяних.

Для герметизації мікроборок і складніших структурних одиниць використовують легкі алюмінієві або магнієві сплави. Виготовлені з них корпуси мають високу стійкість до ударів та вібрацій. Можливе використання для захисту легких пластмасових корпусів, але за умови нанесення проміжного демпферного покриття. Попередня оцінка показує, що застосування перелічених вище заходів приблизно в 1,5–2,0 рази підвищує стійкість ЕА до ударів та вібрацій.

Висновки. 1. Дослідження із застосуванням моделі фізичного маятника показали, що енергетичний спектр вібрацій залежить від частоти й амплітуди коливань і збільшується зі збільшенням останніх. 2. Бурові колони за малої частоти мають велику амплітуду коливань, а отже, – широкий енергетичний спектр, який спричиняє швидке руйнування встановленої на них ЕА. 3. Комплексний підхід до підвищення стійкості ЕА до механічних дестабілізуючих факторів, який передбачає зменшення вагогабаритних показників ЕА, зменшення в них кількості монтажних з'єднань і застосування амортизаторів, дає найкращі результати.

1. Ричина Т.А. *Электрорадиоэлементы*. – М.: Сов. радио, 1976. – 336 с. 2. Роцин Г.Н. *Конструирование механизмов радиоэлектронной аппаратуры*. – М.: Высшая школа, 1973. – 392 с. 3. Матвійків М.Д., Когут В.М., Матвійків О.М. *Елементна база електронних апаратів*. – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка” 2007. – 420 с. 4. Матвійків М.Д., Когут В.М., Матвійків О.М. *Технологія електронних апаратів*. – Львів: Априорі, 2010. – 392 с. 5. Соменко В.В., Кратц Дж., Невлюдов А.Ш., Палагин В.А. *Технология межсоединений электронной аппаратуры*. – Харьков: Компания СМНТ 2005. – 427 с.