

УДК 621.01: 620.179.1

Вілен Петрович РОЙЗМАН,
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки та зв'язку Хмельницького національного університету

Світлана Анатоліївна ПЕТРАЩУК,
кандидат технічних наук, доцент кафедри основ інженерної механіки та комп'ютерної графіки Хмельницького національного університету

ЗАДАЧА НЕСТАЦІОНАРНОГО РАДІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ В ЕЛЕКТРОННОМУ ЕЛЕМЕНТІ І КОМПАУНДІ, ЩО ЗНАХОДЯТЬСЯ У СКЛАДІ КОМПАУНДОВАНОГО МІКРОМОДУЛЯ

Розроблена математична модель для розрахунку напружень у системі електронний елемент – компаунд, яка дозволяє оцінювати міцність електронних елементів, що мають форму тіл обертання, а також компаунду при довільній формі заливки за зміни температури. Для розрахунку внутрішніх напружень при несталому перепаді температур знайдено закон розподілення температури в об'ємі компаундованого мікромодуля і розв'язано нестационарну задачу радіального розподілення температури в окремому електронному елементі, що знаходиться в складі компаундованого мікромодуля, і в шарі компаунду навколо нього.

Ключеві слова: мікромодуль, електронний елемент, компаунд, напруження, теплопровідність, температурний розподіл.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Аналіз сучасних виробів радіоелектроніки та їх елементної бази свідчить про те, що найбільш загальною тенденцією у розвитку радіоелектронної техніки є поєднання усе більшої інтеграції виконавських функцій із все більшою її мініатюризацією. Наслідком цього є різке ускладнення конструкцій сучасних виробів та технологічних процесів їх виготовлення. Задача забезпечення захисту від впливу навколишнього середовища привела до використання в радіоелектронних конструкціях компаундів на основі полімерних смол та поєднання різнорідних матеріалів, які за зміни температури неминуче взаємодіють між собою. Як результат цієї взаємодії з'являються внутрішні механічні напруження, від яких ламаються електронні елементи і розшаровується компаунд, що означає відмову всього приладу.

Механічні впливи, викликані дією температури, спричиняють від 30 до 40 %, в авіації – до 60 % усіх відмов виробів радіоелектронної техніки, погіршують точність та інші параметри апаратури. Ціна таких відмов буває дуже високою, не говорячи вже про людські жертви.

У зв'язку з цим забезпечення міцності за зміни температури електронних елементів, герметизованих компаундом, та підвищення на цій основі надійності всього виробу, безумовно, є важливою та актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Розробці методів розрахунку напружено-деформівного стану й оцінюванню міцності сполученої системи герметизована конструкція – герметизувальний матеріал присвячені роботи А. І. Галушко, І. М. Ерліха, К. Н. Кана, В. М. Крищука, О. А. Кузнецова, С. В. Ленкова, М. І. Хавкіна, А. Г. Шайко-Шайковського та інших. Загальним недоліком розрахункових моделей вказаних авторів є нехтування напруженнями від нерівномірностей температурного розподілу, для розрахунку яких потрібно мати реальний закон розподілення температури в кожному конкретному випадку.

Метою статті є рішення задачі нестационарного радіального розподілу температури в електронному елементі та компаунді, що знаходяться у складі компаундованого мікро модуля.

Основні результати дослідження. Для розрахунку напружень, які виникають в електронних елементах, що мають поверхні тіл обертання (резисторах, конденсаторах, діодах та ін.) і можуть бути представлені у вигляді циліндрів, та у виділеному навколо них шарі компаунду при зміні температури (рис. 1) розроблено математичну модель. Розрахункова схема може бути зведена до осесиметричної задачі взаємодії двох циліндричних тіл (рис. 2), де P – контактний тиск, який виникає на межі циліндрів через різницю коефіцієнтів лінійного теплового розширення та інших фізико-механічних характеристик матеріалів елемента і компаунду за змін температури, P_1 і P_2 – тиск навколишнього середовища.

У розв'язанні цієї задачі можна очікувати появу внутрішніх радіальних σ_r , колових σ_t та осьових σ_z напружень в електронному елементі та компаунді від контактного тиску.

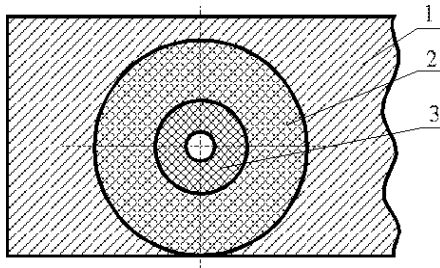


Рис. 1. Поперечний переріз електронного елемента, заполімеризованого компаундом: 1 – компаунд; 2 – виділений компаундний циліндр; 3 – електронний елемент

У принципі, для розв'язування можна використати теорію Ляме–Гадоліна розрахунку на міцність (теорію взаємодії складених товстостінних циліндрів) [1]. І хоча природа діючих сил в обох випадках різна: для складених товстостінних циліндрів – це тиск від посадки з натягом, а для електронних елементів, що герметизуються, – це контактний тиск на межі компаунду й елемента; основна частина розв'язування зводиться до загальної схеми розрахунку – до осесиметричної задачі.

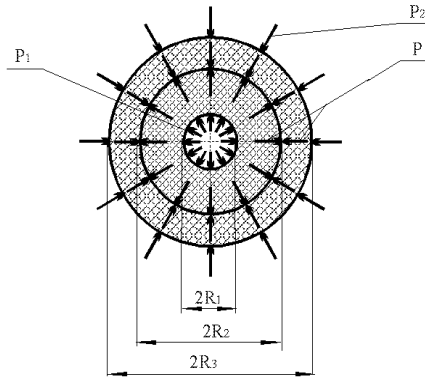


Рис. 2. Схема навантаження електронного елемента і виділеного шару компаунду

Однак при перепаді температур, окрім напружень від дії контактного тиску P , в обох циліндрах виникають напруження від нерівномірного розподілу температур, тому в розробленій математичній моделі спільні напруження визначаються як сума напружень від контактного тиску і від нерівномірного розподілу температур:

у матеріалі електронного елемента

$$\sigma_{r_1} = \frac{E_1}{1-\mu_1} \left[-\frac{1}{r^2} \int_{R_1}^r \alpha_1 \Delta t_1 r dr + \frac{r^2 - R_1^2}{r^2 (R_2^2 - R_1^2)} \int_{R_1}^{R_2} \alpha_1 \Delta t_1 r dr \right] + \frac{P_1 R_1^2 - P R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} - \frac{(P_1 - P) R_1^2 R_2^2}{r^2 (R_2^2 - R_1^2)}, \quad (1)$$

$$\sigma_{t_1} = \frac{E_1}{1-\mu_1} \left[\frac{1}{r^2} \int_{R_1}^r \alpha_1 \Delta t_1 r dr + \frac{r^2 - R_1^2}{r^2 (R_2^2 - R_1^2)} \int_{R_1}^{R_2} \alpha_1 \Delta t_1 r dr - \alpha_1 \Delta t_1 \right] + \frac{P_1 R_1^2 - P R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} + \frac{(P_1 - P) R_1^2 R_2^2}{r^2 (R_2^2 - R_1^2)}, \quad (2)$$

$$\sigma_{z_1} = \frac{E_1}{1-\mu_1} \left[\frac{2}{R_2^2 - R_1^2} \int_{R_1}^{R_2} \alpha_1 \Delta t_1 r dr - \alpha_1 \Delta t_1 \right] + \frac{P_1 R_1^2 - P R_2^2}{R_2^2 - R_1^2}; \quad (3)$$

у матеріалі виділеного компаундного циліндра

$$\sigma_{t_2} = \frac{E_2}{1-\mu_2} \left[-\frac{1}{r^2} \int_{R_2}^r \alpha_2 \Delta t_2 r dr + \frac{R^2 - R_2^2}{r^2 (R_3^2 - R_2^2)} \int_{R_2}^{R_3} \alpha_2 \Delta t_2 r dr \right] + \frac{PR_2^2 - P_2 R_3^2}{R_3^2 - R_2^2} - \frac{(P - P_2) R_2^2 R_3^2}{r^2 (R_3^2 - R_2^2)}, \quad (4)$$

$$\sigma_{t_2} = \frac{E_2}{1-\mu_2} \left[\frac{1}{r^2} \int_{R_2}^r \alpha_2 \Delta t_2 r dr + \frac{R^2 - R_2^2}{r^2 (R_3^2 - R_2^2)} \int_{R_2}^{R_3} \alpha_2 \Delta t_2 r dr - \alpha_2 \Delta t_2 \right] + \frac{PR_2^2 - P_2 R_3^2}{R_3^2 - R_2^2} + \frac{(P - P_1) R_2^2 R_3^2}{r^2 (R_3^2 - R_2^2)}, \quad (5)$$

$$\sigma_{t_2} = \frac{E_2}{1-\mu_2} \left\{ \frac{2}{R_3^2 - R_2^2} \int_{R_2}^{R_3} \alpha_2 \Delta t_2 r dr - \alpha_2 \Delta t_2 \right\} + \frac{PR_2^2 - P_2 R_3^2}{R_3^2 - R_2^2}, \quad (6)$$

де μ_1, μ_2 ; E_1, E_2 ; α_1, α_2 – коефіцієнти Пуасона, модулі пружності першого роду, коефіцієнти лінійного теплового розширення матеріалів електронного елемента і компаунду відповідно; R_1, R_2 – внутрішній і зовнішній радіуси електронного елемента; R_2, R_3 – внутрішній і зовнішній радіуси виділеного компаундного циліндра; r, R – змінні радіуси: $R_1 \leq r \leq R_2, R_2 \leq R \leq R_3$; $\int_{R_1}^r \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot r dr, \int_{R_1}^{R_2} \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot r dr, \int_{R_2}^r \alpha_2 \cdot \Delta t_2 \cdot r dr, \int_{R_2}^{R_3} \alpha_2 \cdot \Delta t_2 \cdot r dr$ – температурні інтеграли; P – контактний тиск:

$$P = \frac{2E_1 E_2 \left[(1 + \mu_1)(R_3^2 - R_2^2) \cdot I_2 - (1 + \mu_2)(R_2^2 - R_1^2) \cdot I_4 \right]}{E_2 (R_3^2 - R_2^2) \cdot [(1 + \mu_1)R_1^2 + (1 - \mu_1)R_2^2] + E_1 (R_2^2 - R_1^2) \cdot [(1 + \mu_2)R_3^2 + (1 - \mu_2)R_2^2]}. \quad (7)$$

Перепади температур $\Delta t_1, \Delta t_2$, які входять у формули температурних інтегралів (і напружень σ_{t_1} і σ_{t_2}), визначаються як $\Delta t_1 = t_e(r, \tau) - t_0, \Delta t_2 = t_{\infty}(r, \tau) - t_0$, де $t(r, \tau)$ – температура циліндричної поверхні радіуса r у момент часу τ , який відраховується з моменту перенесення виробу із середовища із сталою температурою t_0 у середовище з температурою t_1 . У розрахунках t_0 приймається за початкову температуру тіла.

Вище наведені формули значно спрощуються, якщо нехтуються малі тиски навколишнього середовища P_1 і P_2 , у порівнянні з набагато більшим контактним тиском P .

Для усталеного перепаду температур Δt , якщо температура всього виробу досягає температури t_1 , формули (1–7) для визначення напружень і контактного тиску набувають вигляду, як це дано у таблиці.

З дослідження формул встановлено, що при радіусі компаунду, який в чотири рази перевершує зовнішній радіус резистора, приріст напружень у компаунді складає 1/16 від максимальних. Це дозволяє розраховувати на міцність резистор, заполімеризований в компаунді будь-якої форми, за формулами (8–14), аби товщина компаунда була в 3–4 рази більша за зовнішній радіус резистора. Також видно, що при зазначених співвідношеннях товщин компаунду і зовнішнього радіуса резистора можна обмежитись вивченням осесиметричної задачі, бо збільшення тиску від компаунду, розташованого за зоною виділеного циліндра, буде несуттєвим, порівняно з максимальними, знайденими шляхом розв'язування симетричної задачі, і в інженерних розрахунках може не враховуватися.

Формули для визначення напружень і контактного тиску за сталого перепаду температур Δt

В електронному елементі	У компаундному циліндрі
$\sigma_{r_1} = -\frac{PR_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \left(1 - \frac{R_1^2}{r^2}\right)$ (8)	$\sigma_{r_2} = -\frac{PR_2^2}{R_3^2 - R_2^2} \left(\frac{R_3^2}{r^2} - 1\right)$ (11)
$\sigma_{t_1} = -\frac{PR_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \left(\frac{R_1^2}{r^2} + 1\right)$ (9)	$\sigma_{t_2} = \frac{PR_2^2}{R_3^2 - R_2^2} \left(\frac{R_3^2}{R^2} + 1\right)$ (12)
$\sigma_{z_1} = -\frac{PR_2^2}{R_2^2 - R_1^2}$ (10)	$\sigma_{z_2} = \frac{PR_2^2}{R_3^2 - R_2^2}$ (13)
$P = \frac{[(1 + \mu_1)\alpha_1 - (1 + \mu_2)\alpha_2]\Delta t}{\frac{[(1 + \mu_1)R_1^2 + (1 - \mu_1)R_2^2]}{E_1(R_2^2 - R_1^2)} + \frac{[(1 + \mu_2)R_3^2 + (1 - \mu_2)R_2^2]}{E_2(R_3^2 - R_2^2)}}}$ (14)	

Оскільки деталі та вузли радіоелектроніки зазвичай працюють в умовах несталіх (тобто нестаціонарних) температур, розглянуто розв'язання нестаціонарної задачі теплопровідності в об'ємі компаундованого мікромодуля і в об'ємі окремого електронного елемента та шару компаунду навколо нього.

Для розв'язання задачі теплопровідності в мікромодулі запропонована математична модель розрахунку температурних полів в об'ємі мікромодуля на основі введення "ефективних параметрів" [2], які враховують неоднорідність матеріалу мікромодуля, що складається з множини різнорідних компонентів: різноманітних електронних елементів і компаунду. Так, коефіцієнт температуропровідності всього мікромодуля як ефективний параметр визначається за формулою

$$\chi = \sum_{i=1}^n v_i \chi_i,$$

де $v_i = \frac{V_i}{V}$, ($i = 1, 2, \dots, n$), V_i – об'єм, який займає i -й компонент мікромодуля (м^3), V – об'єм усього мікромодуля, χ_i – коефіцієнт температуропровідності відповідного компонента ($\text{м}^2/\text{год}$).

Для компаундованого мікромодуля у вигляді прямокутного паралелепіпеда з початком координат у точці перетину діагоналей і координатних осей уздовж його головних осей інерції та розмірами $-a \leq x \leq a$, $-b \leq y \leq b$, $-c \leq z \leq c$ (рис. 3) розв'язання задачі теплопровідності має вигляд:

$$t = (t_0 - t_1) \cdot \Phi_1 \left(\frac{a - |x|}{2\sqrt{\chi \cdot \tau}} \right) \cdot \Phi_2 \left(\frac{b - |y|}{2\sqrt{\chi \cdot \tau}} \right) \cdot \Phi_3 \left(\frac{c - |z|}{2\sqrt{\chi \cdot \tau}} \right) + t_1, \quad (15)$$

де t_0 – початкова температура тіла, t_1 – температура навколишнього середовища, Φ_1, Φ_2, Φ_3 – функції Лапласа, τ – час.

Математична модель дає можливість визначати температури в різні моменти часу і у будь-яких точках твердого тіла.

На рис. 4 показаний температурний розподіл у горизонтальному перерізі гермомодуля ЖУ5.760.001 при його переносенні з максималь-

но додатньої температури t_0 у максимальну від'ємну t_1 (у нашому випадку з $+70\text{ }^\circ\text{C}$ у $-60\text{ }^\circ\text{C}$). Ізотерми побудовані в різні моменти часу аж до повного остигання гермомодуля.

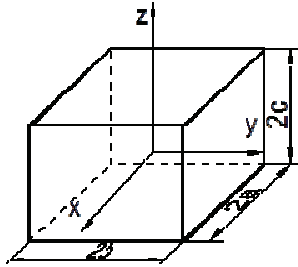


Рис. 3. Компаундований мікромодуль

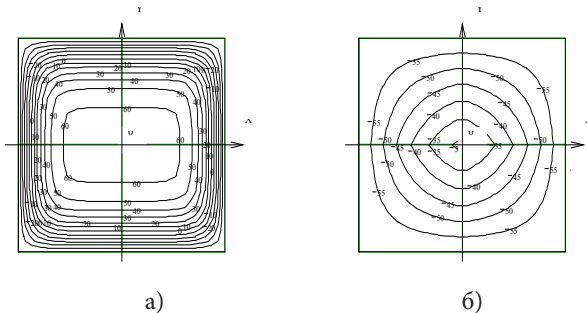


Рис. 4. Ізотерми для горизонтального перерізу мікромодуля в моменти часу: а- $\tau=8\text{c}$, б- $\tau=200\text{c}$

У результаті розрахунків отримано, що практично повне остигання мікромодуля відбувається через 1 366 с (22,7 хв). Проведені експерименти свідчать, що середній час остигання мікромодуля – 1160 с (19,33 хв), і це мало відрізняється від розрахованого, причому у виробничому процесі при технологічному тренуванні мікромодулів термоударами час остигання (нагрівання) мікромодуля складає 1 годину: спочатку виріб поміщують у камеру тепла, а потім переносять у камеру холоду (час перенесення обмежується секундами), витрим-

ка виробів у камерах проводиться до досягнення теплової рівноваги (1 год). Загальна кількість термоциклів, як правило, дорівнює трьом. Вважається, що в результаті цього тренування виявляються приховані конструктивні дефекти і відбраковуюються потенційно ненадійні вироби.

Отже, розраховуючи температурне поле мікромодуля, яке змінюється в часі, можна оптимізувати технологічний час проведення термоудару при виробництві мікромодулів. Так у наведеному вище випадку замість годинної витримки мікромодулів при $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ модулі можна витримувати не більше 23–25 хв.

Після розв'язання задачі теплопровідності при термоударі в об'ємі цілого мікромодуля, матеріал якого розглядався як композитний і не враховувалася форма його окремих елементів, було більш детально розглянуто нестационарний розподіл температури в окремому електронному елементі мікромодуля й шарі компаунду навколо нього.

Диференціальне рівняння, що описує несталий радіальний розподіл температури в товстостінному циліндрі, має вигляд:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} - \frac{1}{\chi_1} \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0, \quad R_1 \leq r \leq R_2. \quad (16)$$

У нашому випадку розв'язувати це рівняння необхідно за граничних умов

$$t|_{r=R_1} = t_a(\tau), \quad t|_{r=R_2} = t_b(\tau) \quad (17)$$

і за початкової умови

$$t|_{\tau=0} = t_0. \quad (18)$$

Для спрощення поставленої задачі її розділили на дві прості задачі і розв'язували кожен окремо:

$$t = t_y(r) + t_n(r, \tau), \quad (19)$$

де t_y – функція, яка залежить тільки від r , а t_n – функція перемінних r, τ .

Перша задача. Функція розподілу температури $t_y(r)$ не залежить від часу і задовольняє диференціальне рівняння

$$\frac{\partial^2 t_y}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t_y}{\partial r} = 0, \quad R_1 \leq r \leq R_2 \quad (20)$$

за граничних умов

$$t_y|_{r=R_1} = t_a(\tau), \quad t_y|_{r=R_2} = t_b(\tau). \quad (21)$$

Граничні умови (21) є функціями часу, тому для розв'язання першої задачі було запропоновано використовувати принцип Дюамеля [3], відповідно до якого кінцевий проміжок часу остигання розбивається на малі інтервали, у яких граничні умови (температури на граничних поверхнях тіл) передбачаються постійними, тобто незалежними від часу. Температури t_a и t_b в кінці кожного інтервалу часу визначаються за законом розподілу температури (15) у компаундованому мікромодулі.

Розв'язок рівняння (20) має вигляд:

$$t_{y_i}(r) = \frac{t_{bi} \ln \frac{r}{R_1} - t_{ai} \ln \frac{r}{R_2}}{\ln \frac{R_2}{R_1}}. \quad (22)$$

Функція (23) являє собою сталу температуру $t_{y_i}(r)$ на i -му інтервалі між поверхнями $r = R_1$ з температурою t_{a_i} і $r = R_2$ з температурою t_{b_i} .

Друга задача. Функція $t_{\tau}(r, \tau)$ задовольняє рівняння

$$\frac{\partial^2 t_{\tau}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_{\tau}}{\partial r} = \frac{1}{\chi_1} \frac{\partial t_{\tau}}{\partial \tau} \quad (23)$$

за початкової умови

$$t_{\tau}|_{\tau=0} = t_0 - t_y(r) \quad (24)$$

і граничних умовах

$$t_{\tau}|_{r=R_1} = 0, \quad t_{\tau}|_{r=R_2} = 0. \quad (25)$$

Розв'язання другої задачі для функції розподілу температур $t_{\tau}(r, \tau)$:

$$t_{\pm}(r, \tau) = \pi \sum_{n=1}^5 \left[\frac{t_0}{J_0(\lambda_n R_1) + J_0(\lambda_n R_2)} - \frac{t_{b_i} \cdot J_0(\lambda_n R_1) - t_{a_i} \cdot J_0(\lambda_n R_2)}{J_0^2(\lambda_n R_1) - J_0^2(\lambda_n R_2)} \right] \times \quad (26)$$

$$\times J_0(\lambda_n R_1) \cdot e^{-\chi_1 \lambda_n^2 \tau} \cdot U_0(\lambda_n r).$$

Повне розв'язання нестационарної задачі температурного розподілу вздовж радіуса електронного елемента і компаунду має вигляд:

$$t_{\pm}(r, \tau) = \pi \sum_{n=1}^5 \left(\frac{t_0}{J_0(\lambda_n R_1) + J_0(\lambda_n R_2)} - \frac{t_{b_i} J_0(\lambda_n R_1) - t_{a_i} J_0(\lambda_n R_2)}{J_0^2(\lambda_n R_1) - J_0^2(\lambda_n R_2)} \right) \times \quad (27)$$

$$\times J_0(\lambda_n R_1) \cdot e^{-\chi_1 \lambda_n^2 \tau} \cdot U_0(\lambda_n r) + \frac{t_{b_i} \ln \frac{r}{R_1} - t_{a_i} \ln \frac{r}{R_2}}{\ln \frac{R_2}{R_1}},$$

$$t_{\pm}(r, \tau) = \pi \sum_{n=1}^5 \left(\frac{t_0}{J_0(\lambda_n R_2) + J_0(\lambda_n R_3)} - \frac{t_{c_i} J_0(\lambda_n R_2) - t_{b_i} J_0(\lambda_n R_3)}{J_0^2(\lambda_n R_2) - J_0^2(\lambda_n R_3)} \right) \times \quad (28)$$

$$\times J_0(\lambda_n R_2) e^{-\chi_2 \lambda_n^2 \tau} \cdot U_0(\lambda_n r) + \frac{t_{c_i} \ln \frac{r}{R_2} - t_{b_i} \ln \frac{r}{R_3}}{\ln \frac{R_3}{R_2}}.$$

Використання отриманих формул (27, 28) у математичній моделі (1–7) для визначення напружень дозволяє знаходити напруження в елементі та компаунді за несталої температури. Установлено, що після перенесення компаундованого мікро модуля з одних крайніх температур у другі з часом напруження зростають і досягають максимуму за найбільшого перепаду температур, тому в інженерних розрахунках для оцінки міцності системи компаунд – електронний елемент достатньо використати формули (8-14) для розрахунку напружень за усталеного перепаду крайніх значень температур.

Висновки. Оскільки матеріали резистора і компаунда перебувають у складному напруженому стані, то оцінку їх міцності слід проводити із застосуванням теорій міцності, а ще надійніше – порівнюючи максимальні експлуатаційні напруження в компаунді і резисторі

з граничними, тобто руйнівними, які повинні бути знайдені експериментально в умовах напруженого стану, подібного за експлуатаційного. Таку оцінку виконано, однак викладення цієї роботи виходить за рамки цієї статті і буде подано в подальшому.

Список використаної літератури

1. Royzman V. Calculation of mechanical stresses in adjoint system of electronic component and compound and strength assessment / V. Royzman, S. Petrashchuk, I. Kovtun, A. Lokoshchenko. – VIBROENGINEERING. JOURNAL OF VIBROENGINEERING. DECEMBER 2012. VOLUME 13, ISSUE 4. ISSN 1392-871.
2. Зельдович Я. Б. // Журнал физ. химии / Я. Б. Зельдович. – 1939. – Т.13. – С. 163-167.
3. Карлсруу Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карлсруу, Д. Егер. – М. : Наука, 1964. – 488 с.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2015.

Ройзман В. П., Петрашук С. А. Задача нестационарного радиального распределения температуры в электронном элементе и компаунде, которые находятся в составе компаундированного микро модуля

Разработана математическая модель для расчета напряжений в системе электронный элемент – компаунд, которая позволяет оценивать прочность электронных элементов, имеющих форму тел вращения, а также компаунда при произвольной форме заливки при изменении температуры. Для расчета внутренних напряжений при неустановившемся перепаде температур найден закон распределения температуры в объеме компаундованого микро модуля и решена нестационарная задача радиального распределения температуры в отдельном электронном элементе, находящемся в составе компаундованого микро модуля, и в окружающем его слое компаунда.

Ключевые слова: микро модуль, электронный элемент, компаунд, напряжение, теплопроводность, температурное распределение.

Royzman V. P., Petrashchuk S. A. **Rapid method wheel balancing vehicles without removing it from the work axis in operational conditions at operating speed**

Paper represents developed mathematical model for calculating mechanical stress in component-compound system, which allows evaluating strength of electronic components having revolution shape and also compound irrespective to shape of its formation in varying temperature. The stress is calculated in transient temperatures owing to finding temperature distribution law in the whole volume of sealed unit, and solving problem of non-stationary radial temperature distribution in electronic component and surrounding compound layer within sealed unit.

Keywords: *micro-unit, electronic component, compound, stress, heat conduction, temperature distribution.*