

исходные данные, системы распределения учебной нагрузки, которая состоит из подсистемы распределения учебной нагрузки и подсистемы определения соответствия преподавателя читаемой дисциплине. Следующими компонентами являются блок полученного решения, подсистема генерации выходных документов, а также блок изменения исходных данных.

В базе данных хранится исходная информация об учебных планах, преподавателях, дисциплинах и наборе параметров, необходимых для правильной работы системы. Затем, эти данные передаются в подсистему распределения учебной нагрузки, обрабатываются с помощью алгоритма Сугэно и генетическим алгоритмом создается подсистема соответствия преподавателя читаемой дисциплине. Затем, полученный результат оценивается лицом, принимающим решение, и, если полученный результат удовлетворяет требованиям, генерируются выходные документы: данные о распределении нагрузки по группам и карточка учебной нагрузки преподавателей. Если результат неудовлетворительный, то ЛПРВ блоке изменения исходных данных вручную меняет информацию и заново запускает систему.

Таким образом, в данной работе предложена новая модель управления формированием учебной нагрузки преподавателя ВУЗа на основе нечеткой логики, что позволяет учесть совокупность расплывчатых характеристик организации учебного процесса. Практическое применение этой системы позволит улучшить использование научно-педагогического потенциала в ВУЗах Украины.

### Литература

1. Про вищу освіту : Закон України від 17.01.2002 р. № 2984 – III (зі змінами та доповненнями), 2002 р.
2. Про впровадження кредитно-модульної системи організації начального процесу : Наказ Міністерства освіти України № 774 від 30.12.2005 р.
3. Положення про організацію навчального процесу у ВНЗ МОН України : Наказ Міністерства освіти України № 161 від 02.06.1993 р.
4. Норми часу для планування і обліку навчальної роботи та переліки основних видів методичної, наукової й організаційної роботи педагогічних і науково-педагогічних і науково-педагогічних працівників ВНЗ : Наказ Міністерства освіти України № 450 від 07.08.2002 р.
5. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику / Сергей Дмитриевич Штовба. – Винница : Издательство винницкого государственного технического университета, 2001. – 198 с.
6. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Д., Пилински М., Рутковский Л. ; [2-е изд]. – М. : Горячая линия-Телеком, 2008 – 452 с.

Надійшла 18.11.2011 р.

Рецензент: д.ф.-м.н. Міненко А.С.

УДК 621.319

Р.О. БОРЯЧОК

Хмельницький національний університет

## РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНЬ В КОНСТРУКЦІЯХ ВУЗЛІВ ВОЛОГОЗАХИСТУ ТОНКОПЛІВКОВИХ КОНДЕНСАТОРІВ

*В даній роботі виводяться формули розрахунку контактних тисків, що виникають на границях вивід-компаунд та компаунд-оболонка в вузлах вологозахисту тонкоплівкових конденсаторів під дією температурних факторів. Аналіз отриманих формул дає можливість розрахувати розподіл напружень у кожному елементі конструкції та оптимізувати конструкцію вузла вологозахисту тонкоплівкових конденсаторів з метою підвищення його надійності.*

*In the given work formulas for computation of the contact pressures arising on margins of conclusion-compound and compound-environment in assemblies of a damp-proofing of thin-film capacitors under affecting of temperature factors are derived. Analysis of the formulas enables to optimize construction of an assembly of damp-proofing of thin-film capacitors with the purpose of boosting its reliability.*

Ключові слова: тонкоплівковий конденсатор, вологозахист, напруження в конструкції.

У сучасній радіоелектронній апаратурі широко використовуються герметизація деталей, вузлів та блоків термореактивними компаундами на основі синтетичних полімерних смол. Герметизація є ефективним засобом захисту від вологи, хімічно агресивних речовин та інших шкідливих впливів навколишнього середовища. Як правило, герметизація покращує електроізоляційні, механічні та інші експлуатаційні характеристики апаратури, підвищує її надійність, а також має інші переваги. В той самий час герметизація має і недоліки. Наприклад, завдяки низькій теплопровідності компаундів погіршується тепловідвід, компаунд обмежує можливості ремонту, внутрішні напруження в компаундах можуть порушувати працездатність деталей або цілісність компаунду.

Найбільш поширеним дефектом таких елементів є розгерметизація їх вузлів вологозахисту, внаслідок відшарування компаунду від корпусу та виводу, розтріскування компаунду та його

виштовхування із корпусу.

В [1] була розроблена та досліджена математична модель взаємодії компаунда з виводом та оболонкою гермовузлів вологозахисту на прикладі тонкоплівкових конденсаторів. В зазначеній роботі було досліджено деформації елементів конструкції, обумовлених дією контактної тиску на границі компаунд– оболонка, що виникає внаслідок впливу змін температури. Однак відкритим залишилось питання щодо визначення самого контактної тиску.

В даній статті виводяться формули розрахунку контактних тисків, що виникають на границях вивід– компаунд та компаунд– оболонка в термовузлах вологозахисту тонкоплівкових конденсаторів під дією температурних факторів внаслідок різних коефіцієнтів лінійного розширення елементів гермовузлів.

Для початку введемо формули для розрахунку контактних тисків, що виникає по довжині контакту компаунда та оболонки вважаючи, що внутрішній радіус компаундного циліндра рівний нулю, тобто в моделі відсутній вивід (рис. 1).

Відомо з [2], що задачі, пов'язані з симетричними деформаціями круглих циліндричних оболонок постійної товщини, зводяться до інтегрування диференційного рівняння:

$$\frac{d^4 y}{dz^4} + \frac{Eh}{R^2 D} y = \frac{f(z)}{D},$$

де  $y = y(z)$  – радіальне переміщення точок серединної поверхні оболонки, яке відраховується від недеформованої серединної поверхні;

$h$  – товщина оболонки;

$R$  – радіус серединної поверхні оболонки;

$E$  – модуль пружності матеріалу оболонки;

$D$  – циліндрична жорсткість:  $D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$ ;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона матеріалу;

$f(z)$  – розподілене навантаження.

З врахуванням температурної дії це диференційне рівняння прийме вигляд:

$$\frac{d^4 y}{dz^4} + \frac{Eh}{R^2 D} y = \frac{P_k}{D} + \frac{Eh}{RD} \alpha \Delta T, \quad (1)$$

де  $P_k$  – контактний тиск;

$\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення;

$\Delta T$  – перепад температури.

Вводячи позначення:

$$q = \frac{P_k}{D} + \frac{Eh}{RD} \alpha \Delta T; \quad \beta^4 = \frac{Eh}{4R^2 D}, \quad (2)$$

ми можемо представити рівняння (1) в спрощеному вигляді:

$$\frac{d^4 y}{dz^4} + 4\beta^4 y = q \quad (3)$$

Це лінійне неоднорідне рівняння четвертого порядку з постійними коефіцієнтами. Загальне рішення цього рівняння являє собою суму двох рішень рівняння  $y_0$  однорідного рівняння та часткового рішення  $y_0$  рівняння:

$$y = y_0 + y_1 \quad (4)$$

Оскільки права частина рівняння – величина постійна, то часткове рішення рівняння (3) являє собою багаточлен нульового ступеня:

$$y_1 = \frac{q}{4\beta^4}, \quad (5)$$

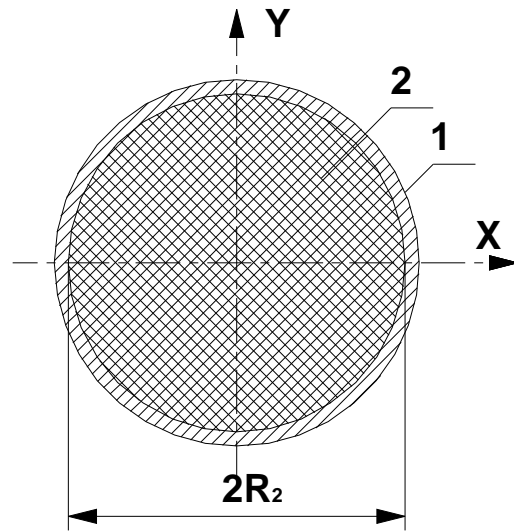


Рис. 1. Модель для розрахунку контактної тиску без наявності контактної виводу: 1 – корпус конденсатора, 2 – компаунд

а  $y_0$  отримаємо, розв'язавши однорідне рівняння:

$$\frac{d^4 y_0}{dz^4} + 4\beta^4 y_0 = 0. \quad (5)$$

Рішення однорідного рівняння (5) має вигляд:

$$y_0 = C_1 y_1 + C_2 y_2 + C_3 y_3 + C_4 y_4, \quad (6)$$

де

$$\begin{aligned} y_1 &= e^{\beta z} \sin \beta z & y_2 &= e^{\beta z} \cos \beta z \\ y_3 &= e^{-\beta z} \sin \beta z & y_4 &= e^{-\beta z} \cos \beta z, \end{aligned} \quad (7)$$

а  $C_i$  – сталі, що визначаються з наступних граничних умов.

Так як на лівому кінці оболонки гермовузла є дно у вигляді текстолітової перегородки (рис. 2), то, вважаючи його защемленням оболонки, в точці  $z=0$  радіальне переміщення і кут повороту точок серединної поверхні рівні нулеві, запишемо граничні умови в вигляді:

$$\begin{cases} y_{z=0} = 0 \\ \frac{dy}{dz}_{z=0} = 0, \end{cases} \quad (8)$$

Враховуючи вирази для згинального моменту  $M$  та перерізуючої сили  $Q$ :

$$M = \frac{d^2 y}{dz^2} D, \quad Q = \frac{d^3 y}{dz^3} D$$

на вільному кінці, де  $z=l$

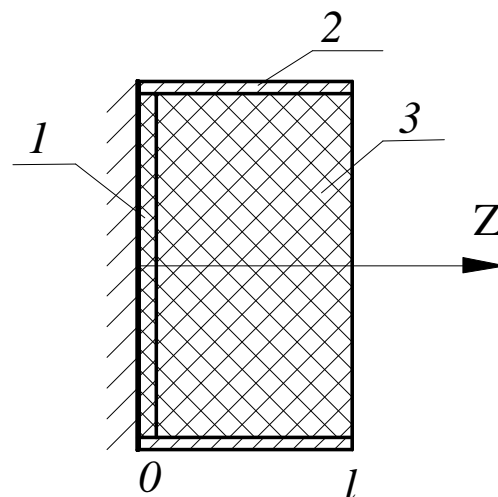


Рис. 2. Схема поперечного перерізу гермовузла:  
1 – текстолітова перегородка, 2 – металева оболонка,  
3 – герметизуючий компаунд

$$\begin{cases} \frac{d^2 y}{dz^2}_{z=l} = 0 \\ \frac{d^3 y}{dz^3}_{z=l} = 0 \end{cases}. \quad (9)$$

Таким чином, прогин серединної поверхні оболонки буде описуватися рівнянням:

$$\begin{aligned} y(z) = & -\frac{e^{\beta z} \cos \beta z}{8\beta^3} \int_0^z q e^{-\beta z} (\cos \beta z + \sin \beta z) dz + A_1 + \\ & + \frac{e^{\beta z} \cos \beta z}{8\beta^3} \int_0^z q e^{-\beta z} (\cos \beta z - \sin \beta z) dz + A_2 + \\ & + \frac{e^{-\beta z} \cos \beta z}{8\beta^3} \int_0^z q e^{-\beta z} (\cos \beta z - \sin \beta z) dz + A_3 - \\ & - \frac{e^{-\beta z} \cos \beta z}{8\beta^3} \int_0^z q e^{-\beta z} (\cos \beta z + \sin \beta z) dz + A_4, \end{aligned} \quad (10)$$

де  $A_i$  – довільні сталі.

Тепер знайдемо формули для переміщення зовнішнього радіуса герметизуючого компаунду, що виникає під дією контактного тиску.

Задамося наступними припущеннями.

1. Напруженнями, що виникають під час хімічного звуження компаунду можна знехтувати.
2. Коефіцієнт лінійного розширення компаунду та деталі різні, частіше  $\alpha_{\text{комп}} > \alpha_{\text{дет}}$ .
3. Деформації підкорюються закону Гука.
4. Радіальні деформації не залежать від координат по поперечній осі деталі при достатньому віддаленні деталі від її торців.
5. Втягування оболонки компаундом проходить внаслідок температурного звуження компаунду.

При цих припущеннях елементи, в яких товщина стінки більше однієї десятої середнього радіуса, можуть розглядатися, як товстостінні циліндри, навантажені внутрішнім та зовнішнім тиском.

Розглянемо загальний випадок навантаження товстостінного циліндра внутрішнім ( $P_1$ ) та зовнішнім тиском ( $P_2$ ). Позначимо  $R_1$  та  $R_2$  – внутрішній та зовнішній радіуси компаундного циліндра. Якщо циліндр нерівномірно нагрівається, то в ньому з’являються температурні навантаження, які потрібно додати до навантажень викликаних тиском.

Розглянемо рівновагу нескінченно малої частинки компаунда (рис. 3), що утворюється двома поперечними перерізами з відстанню  $dz$  між ними, двома осьовими перерізами з кутом  $d\varphi$  між ними та двома циліндрами радіусами  $r$  та  $dr$ . Переміщення компаунду для даного випадку описується наступним рівнянням [2]:

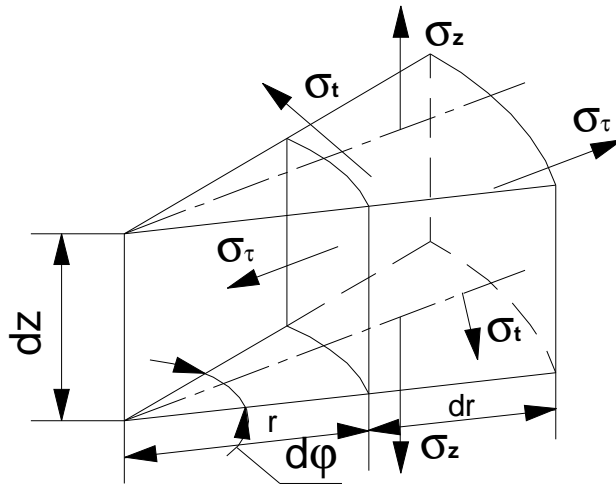


Рис. 3. Нескінченно малий елемент компаунду

$$\begin{aligned}
 u = & \frac{1}{r} \frac{1+\mu}{1-\mu} \int_{R_1}^r \alpha \Delta T r dr + \\
 & + r \left[ \frac{(1-2\mu)(P_1 R_1^2 - P_2 R_2^2)}{E_1 (R_2^2 - R_1^2)} + \frac{1-3\mu}{(1-\mu)(R_2^2 - R_1^2)} \int_{R_1}^{R_2} \alpha \Delta T r dr \right] + \\
 & + \frac{1}{r} \left[ \frac{(1+2\mu)(P_1 - P_2) R_1^2 R_2^2}{E_1 (R_2^2 - R_1^2)} + \frac{R_1^2 (1+\mu)}{(1-\mu)(R_2^2 - R_1^2)} \int_{R_1}^{R_2} \alpha \Delta T r dr \right],
 \end{aligned} \tag{11}$$

де  $u$  – переміщення компаунду;  
 $\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення.

Ми розглядаємо тільки місце контакту компаунду та оболонки, тому що в нашому випадку  $R_1 = 0$ ,  $P_1 = 0$ ,  $R = R_2$ .

Також припустимо, що перепад температури по радіусу циліндра постійний і дорівнює  $t(R_1) = t(R_2) = \Delta T$ .

В такому випадку формула (11) прийме вигляд:

$$u = R_2 \left( \alpha \Delta T - \frac{P_k (1-2\mu)}{E} \right). \tag{12}$$

Переходячи від  $P_k$  до  $q$ , враховуючи:

$$P_k = q - \frac{Eh}{RD} \alpha \Delta T$$

отримаємо кінцевий вираз для переміщення компаунду

$$u = \alpha \Delta T R_2 \left[ 1 + \frac{h}{R} (1-2\mu) \right] - q R_2 \frac{h^3 (1-2\mu)}{12 (1-\mu^2)}. \tag{13}$$

Обрахувати контактний тиск, що виникає на границі компаунду та оболонки можна з умови сумісності деформацій контактуючих поверхонь. Тобто:

$$\begin{cases} R_2 = \left(R - \frac{h}{2}\right) + y(z) \\ u(z) = y(z) \end{cases}$$

З цієї умови сумісності, а також з формули (13) можна записати:

$$y(z) = \alpha \Delta T \left[ \left(R - \frac{h}{2}\right) + y(z) \right] \left[ 1 + \frac{h}{R}(1 - 2\mu) \right] - q \left[ \left(R - \frac{h}{2}\right) + y(z) \right] \frac{h^3(1 - 2\mu)}{12(1 - 2\mu)} \quad (14)$$

Визначимо з цього рівняння  $y(z)$

$$y(z) = \frac{\alpha \Delta T \left(R - \frac{h}{2}\right) \left[ 1 + \frac{h}{R}(1 - 2\mu) \right] - q \left(R - \frac{h}{2}\right) \frac{h^3(1 - 2\mu)}{12(1 - 2\mu)}}{1 - \alpha \Delta T \left[ 1 + \frac{h}{R}(1 - 2\mu) \right] + q \frac{h^3(1 - 2\mu)}{12(1 - 2\mu)}}$$

Зробивши наступні позначення для спрощення виразу

$$a_1 = 1 + \frac{h}{R}(1 - 2\mu); \quad a_2 = \frac{h^3(1 - 2\mu)}{12(1 - 2\mu)}; \quad a_3 = R - \frac{h}{2},$$

отримаємо:

$$y(z) = \frac{(\alpha \Delta T a_1 - q a_2) a_3}{1 - \alpha \Delta T a_1 + q a_2} \quad (15)$$

З врахуванням формул (10) та (15), можна записати інтегральне рівняння відносно  $q$ :

$$\begin{aligned} & - \frac{e^{\beta z} \cos \beta z}{8\beta^3} \int_0^z q e^{-\beta z} (\cos \beta z + \sin \beta z) dz + A_1 + \\ & + \frac{e^{\beta z} \cos \beta z}{8\beta^3} \int_0^z q e^{-\beta z} (\cos \beta z - \sin \beta z) dz + A_2 + \\ & + \frac{e^{-\beta z} \cos \beta z}{8\beta^3} \int_0^z q e^{-\beta z} (\cos \beta z - \sin \beta z) dz + A_3 - \\ & - \frac{e^{-\beta z} \cos \beta z}{8\beta^3} \int_0^z q e^{-\beta z} (\cos \beta z + \sin \beta z) dz + A_4 = \\ & = \frac{(\alpha \Delta T a_1 - q a_2) a_3}{1 - \alpha \Delta T a_1 + q a_2} \end{aligned} \quad (16)$$

Таким чином, з рівняння (16), підставляючи граничні умови може бути знайдений контактний тиск на границі компаунда та оболонки.

Так само можна отримати вирази для розрахунку контактної тиску випадку тришарової схеми вивід-компаунд-оболонка, якщо вважати два перші товстостінними циліндрами, а останній оболонкою. Саме така конструкція має місце в вузлах захисту від вологи плівкових конденсаторів.

Розглянемо рис. 4, на ньому показаний поперечний переріз конденсатора по вузлу захисту від вологи. Тут можна побачити переріз трьох циліндрів: суцільного виводу – 1, компаундного циліндра – 2 та корпусного циліндра – 3.

Розрахунок контактної тиску, що виникає на границі розділу циліндрів, можна проводити по схемі тришарового товстостінного циліндра. Це не відобразиться на результатах та дозволить скористатися вже відомими формулами.

Введемо наступні позначення:

$P_{1k}$  – контактний тиск між першим та другим циліндрами,  $P_{2k}$  – контактний тиск між другим та циліндрами,  $E_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $t_i(R)$  – відповідно модуль пружності, температурний коефіцієнт лінійного розширення та перепад температури по радіусу  $R$   $i$ -го циліндра ( $i=1,2,3$ ).

Скориставшись формулою (11), та враховуючи те, що для першого циліндра внутрішній радіус рівний нулю, третій циліндр не навантажений зовнішнім тиском, а температурний перепад не залежить від радіусу, тобто  $t(R_1) = t(R_2) = t(R_3)$ , отримаємо:

для першого циліндра

$$u_{11} = R_1 \left( \alpha_1 \Delta T - \frac{P_{1k}(1-2\mu)}{E_1} \right);$$

для другого циліндра

$$\begin{aligned} u_{21} = & \alpha_2 \Delta T R_1 + \\ & + \frac{(1-2\mu_2)(R_1^3 P_{1k} - R_1 R_2^2 P_{2k})}{E_2 (R_2^2 - R_1^2)} +, \\ & + \frac{(1+2\mu_2)(P_{1k} - P_{2k}) R_1 R_2^2}{E_2 (R_2^2 - R_1^2)} \\ u_{22} = & \alpha_2 \Delta T R_2 + \\ & + \frac{(1-2\mu_2)(R_1^2 P_{1k} - R_2^2 P_{2k}) R_2}{E_2 (R_2^2 - R_1^2)} +; \\ & + \frac{(1+2\mu_2)(P_{1k} - P_{2k}) R_2 R_1^2}{E_2 (R_2^2 - R_1^2)} \end{aligned}$$

для третього циліндра

$$\begin{aligned} u_{32} = & \alpha_3 \Delta T R_2 + \\ & + \frac{(1-2\mu) R_2^3 P_{2k} + (1+2\mu_2) P_{2k} R_2 R_3^2}{E_3 (R_3^2 - R_2^2)} ; \end{aligned}$$

де  $u_{ij}$  – переміщення викликане тиском  $i$ -го циліндра для  $j$ -го радіуса.

Використовуючи умови сумісної деформації

$$\begin{cases} u_{11} = u_{21} \\ u_{22} = u_{32} \end{cases}$$

Легко можна знайти формули для контактного тиску:

$$\left\{ \begin{aligned} P_{1k} = & \frac{(\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T + P_{2k} \frac{R_2^2 (2 - \mu_2)}{E_2 (R_2^2 - R_1^2)}}{\frac{1 - 2\mu_2}{E_1} + \frac{R_1^2 (1 - 2\mu_2) + R_2^2 (1 - \mu_2)}{E_2 (R_2^2 - R_1^2)}} \\ P_{2k} = & \frac{(\alpha_2 - \alpha_3) \Delta T + P_{1k} \frac{R_1^2 (2 - \mu_2)}{E_2 (R_2^2 - R_1^2)}}{\frac{R_2^2 (1 - 2\mu_2) + R_1^2 (1 - \mu_1)}{E_2 (R_2^2 - R_1^2)} + \frac{R_2^2 (1 - 2\mu_3) + R_3^2 (1 - \mu_3)}{E_3 (R_3^2 - R_2^2)}} \end{aligned} \right. \quad (17)$$

Для спрощення введемо наступні позначення:

$$\begin{aligned} A_1 = & \frac{R_2^2 (2 - \mu_2)}{E_2 (R_2^2 - R_1^2)}; \quad A_2 = \frac{R_1^2 (2 - \mu_2)}{E_2 (R_2^2 - R_1^2)}; \\ C_1 = & \frac{1 - 2\mu_2}{E_1} + \frac{R_1^2 (1 - 2\mu_2) + R_2^2 (1 - \mu_2)}{E_2 (R_2^2 - R_1^2)}; \end{aligned}$$

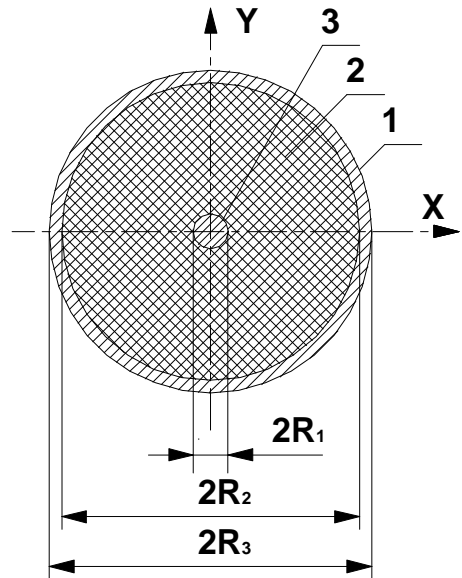


Рис. 4. Поперечний переріз конденсатора з наявністю виводу по вузлу захисту від вологи

$$C_2 = \frac{R_2^2(1-2\mu_2) + R_1^2(1-\mu_1)}{E_2(R_2^2 - R_1^2)} + \frac{R_2^2(1-2\mu_3) + R_3^2(1-\mu_3)}{E_3(R_3^2 - R_2^2)}.$$

Формули приймуть вигляд:

$$\begin{cases} P_{1k} = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T + P_{2k} A_1}{C_1} \\ P_{2k} = \frac{(\alpha_2 - \alpha_3)\Delta T + P_{1k} A_2}{C_2}. \end{cases} \quad (18)$$

Розв'язуючи отриману систему рівнянь відносно  $P_{1k}$  та  $P_{2k}$ , отримаємо:

$$\begin{cases} P_{1k} = \frac{C_2(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T + A_1(\alpha_2 - \alpha_3)\Delta T + A_1 P_{2k}}{C_1} \\ P_{2k} = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T + P_{1k} A_2}{C_2}. \end{cases} \quad (19)$$

Напруження в циліндрах можна знайти за формулами:

$$\begin{aligned} \sigma_{r1} &= P_{1k}, \quad \sigma_{t1} = P_{1k}, \\ \sigma_{r2} &= \frac{P_{1k} R_2^2 + P_{2k} R_3^2}{R_3^2 - R_2^2} - \frac{(P_{1k} + P_{2k}) R_2^2 R_3^2}{R^2 (R_3^2 - R_2^2)}, \\ \sigma_{t2} &= \frac{P_{1k} R_2^2 + P_{2k} R_3^2}{R_3^2 - R_2^2} + \frac{(P_{1k} + P_{2k}) R_2^2 R_3^2}{R^2 (R_3^2 - R_2^2)}, \\ \sigma_{r3} &= \frac{P_{2k} R_3^2 + P_2 R_4^2}{R_4^2 - R_3^2} - \frac{(P_{2k} + P_2) R_4^2 R_3^2}{R^2 (R_4^2 - R_3^2)}, \\ \sigma_{t3} &= \frac{P_{2k} R_3^2 + P_2 R_4^2}{R_4^2 - R_3^2} + \frac{(P_{2k} + P_2) R_4^2 R_3^2}{R^2 (R_4^2 - R_3^2)}, \end{aligned} \quad (20)$$

де  $R$  – поточний радіус, що змінюється для другого циліндра в межах  $R_2 < R < R_3$ , для третього циліндра –  $R_3 < R < R_4$ .

По отриманих формулах можна розрахувати розподіл напружень у кожному елементі конструкції: вивід, компаунд, оболонка.

### Висновки

1. Як впливає з виведених формул, збільшення контактного тиску на стику компаунд – вивід можна домогтися за рахунок збільшення товщини компаунда, а також, усунувши з конструкції зовнішню оболонку, тому що у випадку ( $a_{\text{комп}} > a_{\text{мет}}$ ) при вистиганні вся енергія компаунда, що витрачалось раніше і на утримання біля себе зовнішнього циліндра, тепер буде витрачатися тільки на притискання компаунда до виводу.

2. Зменшення контактної натягу на межі компаунд– оболонка можна домогтися, давши можливість компаунду вільно, не впираючись у вивід, "іти" від оболонки, тобто, усунувши вивід.

3. Реалізація цих можливостей означала б перехід від тришарового циліндра до двох двошарових: вивід-компаунд і компаунд– оболонка, що і являє собою задання для подальших досліджень.

### Література

1. Борячок Р.О. Розробка та дослідження математичних моделей взаємодії компаунда з виводом та оболонкою в різних конструкціях гермовузлів тонкоплівкових та електролітичних конденсаторів / Р.О. Борячок // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. –2007.– № 2. – С. 85–90.

2. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин / Биргер И.А., Шор Б.Ф. Иосилевич Г.Б. – М. : Машиностроение, 1979.–702 с.

Надійшла 22.12.2011 р.  
Рецензент: д.т.н. Сорокати Р.В.