

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО
ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ**

По дисциплине «Радиопрозрачные материалы и обтекатели»
для студентов, обучающихся по направлению 160000 «Эксплуатация
авиационной и космической техники» по специальности 160905 «Техническая
эксплуатация транспортного радиооборудования» радиоконструкторского
факультета

Факультет	радиоконструкторский
Кафедра	КИПР
Курс	4
Семестр	8

Учебный план набора года 2008 года и последующих лет

Разработчик:
доцент кафедры
М.Г. Кистенева

1. Общие указания по решению задач

Прежде чем решать задачу, надо вспомнить физические процессы, законы и соотношения, относящиеся к данному вопросу. Обратите внимание на размерности заданных величин. При необходимости надо перевести размерности в одну систему единиц. Все аналитические решения следует проводить по общеизвестным правилам. Рекомендуется решать задачи в общем виде. Сначала записать исходные формулы, сделать при необходимости соответствующие преобразования, получить конечные формулы, а затем подставить в эти формулы числовые значения и вычислить результат. Если решение задачи в общем виде связано с громоздкими выражениями, то можно производить решение по шагам. Ход всех преобразований и вычислений должен быть объяснен. Вычисления, как правило, достаточно делать с точностью до второго знака, нет смысла производить вычисления с точностью до третьего знака, так как исходные данные обычно бывают заданы с меньшей точностью.

2. Тема: Сопротивление проводников на высоких частотах (Скин-эффект)

На высоких частотах наблюдается неравномерное распределение электрического тока по сечению проводников: плотность тока максимальна на поверхности и убывает по мере проникновения в глубь проводника. Это явление называется *поверхностным эффектом* (скин-эффектом). Неравномерное распределение тока объясняется действием поля того же проводника. Переменное электрическое поле приводит к возникновению Э.Д.С. самоиндукции, которая имеет направление, противоположное току в проводе и тормозит его изменение в соответствии с законом Ленца.

Глубина проникновения поля численно равна расстоянию, на котором амплитуда напряженности поля, а следовательно, и плотности тока, уменьшается в e раз по отношению к своему значению на поверхности проводника. Глубина проникновения поля определяется выражением:

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \gamma \mu}} \quad (2.1)$$

где f – частота изменения поля, Гц,

γ – удельная электропроводность, $\text{См} \cdot \text{м}^{-1}$,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная,

μ – относительная магнитная проницаемость.

Поскольку центральная часть сечения проводника почти не используется, активное сопротивление провода $R_{\text{л}}$ при прохождении по нему переменного тока больше, чем его активное сопротивление R_0 при постоянном токе. Коэффициент увеличения сопротивления k_R цилиндрического провода круглого сечения рассчитывают по формуле

$$k_R = \frac{R_{\text{л}}}{R_0} = \frac{S_0}{S} = \frac{d}{4\Delta} \quad (2.2)$$

где d – диаметр провода. Формула (2.2) справедлива при $\Delta \ll d$.

В радиотехнике для плоских проводников используют специальную характеристику – сопротивление квадрата поверхности R_S , определяемое (в Ом) из выражения

$$R_S = \rho / \Delta, \quad (2.3)$$

которое показывает, что активное сопротивление R_S плоского проводника бесконечной толщины в случае поверхностного эффекта равно сопротивлению плоского проводника толщиной Δ для постоянного тока.

Для изготовления элементов, полностью отражающих электромагнитную волну (ЭМВ), в частности, приемных и передающих антенн, применяют металл, металлизированные стеклопластики. Для обеспечения эффективного отражения электромагнитной волны толщина металлического слоя должна быть больше

глубины проникновения, а сам металл должен иметь низкое электрическое сопротивление во избежание потерь.

В качестве отражающего слоя используется также металлическая сетка. В том случае, если такая металлическая сетка расположена на поверхности стеклопластикового отражателя (антенны), коэффициент отражения электромагнитной энергии по мощности $|R|^2$ при условии $r \ll \lambda$ и $S \ll \lambda$ может быть определен по уравнению

$$|R|^2 = \frac{1}{\left(\frac{2S \ln S}{\lambda 2\pi d}\right)^2 + 1} \quad (2.4)$$

где S – шаг сетки,
 λ - длина волны.

Контрольные задания по теме «Скин – эффект».

1. Вычислить, во сколько раз сопротивление медного провода круглого сечения диаметром 1 мм на частоте 10 МГц больше сопротивления этого провода постоянному электрическому току.

2. Вычислить глубину проникновения электромагнитного поля в медный проводник на частотах 50 Гц и 1 МГц.

3. Определить отношение глубин проникновения электромагнитного поля в алюминиевый и стальной проводники на частоте 50 Гц и 1 МГц. При расчете полагать, что для малоуглеродистой стали $\mu = 1000$, а $\rho = 0,1$ мкОм·м.

4. Чему равно сопротивление квадрата поверхности плоского медного проводника на частоте 2 МГц?

5. Чему равно электрическое сопротивление квадрата поверхности плоского латунного проводника на частоте 3 МГц, если удельное электрическое сопротивление латуни постоянному току равно 0,08 мкОм·м?

6. Во сколько раз активное электрическое сопротивление круглого медного провода диаметром 0,9 мм при температуре 60°C на частоте 1 МГц больше сопротивления этого же провода при постоянном токе при 20°C ? Длина провода 5,6 м.

7. Во сколько раз сопротивление цилиндрического проводника из меди (внутренний диаметр 0,5 мм, внешний диаметр 1 мм) на частоте 100 МГц больше сопротивления этого же провода при постоянном токе?

8. Во сколько раз активное электрическое сопротивление круглого медного провода диаметром 0,5 мм при температуре 150°C на частоте 50 МГц больше сопротивления этого же провода при температуре 50°C на частоте 1 МГц? Длина провода 7,2 м.

9. На переменном токе $I = 0,1 \cdot \cos(1,2 \cdot 10^8 \pi t)$ А активное электрическое сопротивление круглого медного провода длиной 3 м равно 0,32 Ом. Чему будет равно сопротивление этого провода при прочих равных условиях, если на его поверхность нанести слой серебра толщиной 20 мкм?

10. На переменном токе при частоте 100 МГц активное электрическое сопротивление круглого медного провода равно 4,7 Ом. На поверхность этого провода нанесен слой серебра. Какова должна быть толщина слоя серебра, чтобы сопротивление такого провода на частоте 1 ГГц определялось только слоем серебра?

11. На поверхность медного провода диаметром 1,2 мм нанесен слой серебра толщиной 25 мкм. Во сколько раз активное электрическое сопротивление провода при токе $I = 0,2 \cdot \cos(5 \cdot 10^7 \pi t)$ А больше, чем при постоянном токе?

12. Как изменится активное сопротивление катушки индуктивности, изготовленной из медного провода диаметром 5 мм, на частоте 5 МГц, если медный провод покрыть слоем серебра толщиной 30 мкм?

13. Отражатель, выполненный из металлизированного стеклопластика, предназначенный для отражения электромагнитной волны с частотой $f = 1 \text{ ГГц}$.

Определить толщину «скин – слоя», если в качестве металла используется медь с $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

14. Металлическая сетка, выполненная из проводников с диаметром 0,2 мм с шагом 1мм, расположена на поверхности диэлектрической стенки. Рассчитать коэффициент отражения по мощности электромагнитной волны с длиной 10 мм.

15. Отражатель, выполненный из металлизированного стеклопластика, предназначенный для отражения электромагнитной волны с частотой $f = 0,1$ ГГц. Определить толщину «скин – слоя», если в качестве металла используется алюминий с $\rho = 2,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

16. Металлическая сетка, выполненная из проводников с диаметром 0,4 мм с шагом 2мм, расположена на поверхности диэлектрической стенки. Рассчитать коэффициент отражения по мощности электромагнитной волны с длиной 20 мм.

3. Тема: Диэлектрические свойства стеклопластиков.

Расчет плотности, массовых и объемных компонент, диэлектрической проницаемости слоистых стеклопластиков

Стеклопластики являются одними из наиболее распространенных композиционных материалов, сочетающих высокую прочность, небольшую плотность, хорошие диэлектрические свойства и приемлемую цену.

Стеклопластик состоит из полимерной матрицы, армированной стекловолокнистым материалом. Использование различных сочетаний армирующих и связующих компонентов позволяет создать материалы с широким диапазоном регулируемых свойств.

Для производства стеклянного волокна, применяемого в качестве основы для изготовления армирующего материала в производстве радиопрозрачных

изделий, используют стекла различного химического состава: алюмоборосиликатные, магнийалюмосиликатные кремнеземные стекла, кварцевые и др.

В качестве связующих в настоящее время наибольшее применение нашли эпоксидные, фенолальдегидные, кремнийорганические, полиимидные, полиэфирные связующие.

Масса m стеклопластика как гетерогенной двухкомпонентной смеси («стекло – связующее») складывается из массы стеклянного волокна m_{cm} и массы связующего $m_{св}$

$$m = m_{cm} + m_{св}. \quad (3.1)$$

Если в выражении (3.1) правую и левую часть поделить на объем V , то получим выражение для плотности стеклопластика

$$\rho = \frac{m_{cm}}{V} + \frac{m_{св}}{V} = \rho_{cm} \cdot v_{cm} + \rho_{св} \cdot v_{св} = \rho_{cm} \cdot v_{cm} + \rho_{св} \cdot (1 - v_{cm}), \quad (3.2)$$

$$\rho = \rho_{cm} \cdot v_{cm} + \rho_{св} \cdot v_{св} = \rho_{cm} \cdot v_{cm} + \rho_{св} \cdot (1 - v_{cm}), \quad (3.3)$$

где $v_{cm} = \frac{V_{cm}}{V}$ и $v_{св} = \frac{V_{св}}{V}$ – объемные компоненты смеси, причем

$$v_{cm} + v_{св} = 1. \quad (3.4)$$

С другой стороны, объем стеклопластика V также складывается из объема стеклянного волокна V_{cm} и объема связующего $V_{св}$

$$V = V_{cm} + V_{св}. \quad (3.5)$$

Если в выражении (3.5) правую и левую часть поделить на массу стеклопластика m , то получим

$$\frac{V}{m} = \frac{V_{cm}}{m} + \frac{V_{св}}{m} = x_{cm} + x_{св} = 1, \quad (3.6)$$

где $x_{cm} = \frac{m_{cm}}{m}$ и $x_{св} = \frac{m_{св}}{m}$ – массовые компоненты смеси, причем

$$x_{cm} + x_{св} = 1. \quad (3.8)$$

Диэлектрическая проницаемость ϵ двухкомпонентной смеси определяется формулой Лихтенеккера

$$\varepsilon^x = v_1 \varepsilon_1^x + v_2 \varepsilon_2^x, \quad (3.9)$$

где v_1 и v_2 – объемные доли компонент,
 x – параметр, характеризующий распределение компонент.

Рассмотрим слоистые пластики. При параллельном (когда вектор напряженности электрического поля параллелен границе раздела слоев) смешении компонент $x = 1$ и

$$\varepsilon = v_1 \varepsilon_1 + v_2 \varepsilon_2, \quad (3.10)$$

где $v_1 = \frac{S_1}{S}$ и $v_2 = \frac{S_2}{S}$,

где S_1, S_2, S – площадь первого и второго слоя и площадь слоистого пластика, соответственно.

Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости в этом случае равен

$$TK\varepsilon = v_1 TK\varepsilon_1 + v_2 TK\varepsilon_2, \quad (3.11)$$

где $TK\varepsilon_1$ и $TK\varepsilon_2$ – температурные коэффициенты диэлектрической проницаемости первой и второй компоненты, соответственно.

При последовательном (когда вектор напряженности электрического поля перпендикулярен границе раздела слоев) смешении компонент $x = -1$ и

$$\varepsilon^{-1} = v_1 \varepsilon_1^{-1} + v_2 \varepsilon_2^{-1}, \quad (3.12)$$

где $v_1 = \frac{d_1}{d}$ и $v_2 = \frac{d_2}{d}$,

где d_1, d_2, d – толщина первого и второго слоя и слоистого диэлектрика, соответственно.

Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости в этом случае равен

$$TK\varepsilon^{-1} = v_1 TK\varepsilon_1^{-1} + v_2 TK\varepsilon_2^{-1}, \quad (3.13)$$

В случае мелкодисперсной хаотической смеси

$$\ln \varepsilon = \nu_1 \ln \varepsilon_1 + \nu_2 \ln \varepsilon_2. \quad (3.14)$$

Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости определяется как

$$TK\varepsilon = \nu_1 TK\varepsilon_1 + \nu_2 TK\varepsilon_2. \quad (3.15)$$

Контрольные задания по теме «Расчет плотности, массовых и объемных компонент, диэлектрической проницаемости слоистых стеклопластиков»

I

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани бесщелочного состава (см. табл.). Содержание армирующего наполнителя в композите $x_{cm} = 0,67$ (масс.).

Таблица

Основные свойства компонентов

Компонент	Плотность, кг/м ³	Диэлектрические свойства при частоте 10 ⁷ Гц	
		ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	1100	3,4	0,02
Стеклоармирующий наполнитель	2500	6,2	0,01

Определить объемные доли компонентов, плотность композита и его диэлектрическую проницаемость в случае параллельного распространения электромагнитной волны.

II

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани бесщелочного состава (см. табл.). Объемная доля стеклоармирующего компонента в композите составляет $v_{cm} = 0,44$.

Таблица

Основные свойства компонентов

Компонент	Плотность, кг/м ³	Диэлектрические свойства при частоте 10 ⁷ Гц	
		ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	1100	3,4	0,02
Стеклоармирующий наполнитель	2500	6,2	0,01

Определить массовые доли компонентов, плотность композита и его диэлектрическую проницаемость в случае перпендикулярного распространения электромагнитной волны.

III

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани бесщелочного состава (см. табл.). Плотность монолитного стеклопластика равна $\rho = 1800$ кг/м³.

Таблица

Основные свойства компонентов

Компонент	Плотность, кг/м ³	Диэлектрические свойства при частоте 10 ⁷ Гц	
		ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	1100	3,4	0,02

Стеклоармирующий наполнитель	2500	6,2	0,01
------------------------------	------	-----	------

Определить объемные и массовые доли компонентов, диэлектрическую проницаемость композита в случае параллельного распространения электромагнитной волны.

IV

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани бесщелочного состава (см. табл.). Плотность монолитного стеклопластика равна $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$.

Таблица

Основные свойства компонентов

Компонент	Плотность, кг/м ³	Диэлектрические свойства при частоте 10^7 Гц	
		ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	1100	3,4	0,02
Стеклоармирующий наполнитель	2500	6,2	0,01

Определить объемные и массовые доли компонентов, диэлектрическую проницаемость композита в случае перпендикулярного распространения электромагнитной волны.

V

Композиционный термокомпенсированный керамический материал изготовлен на основе двух диэлектриков с диэлектрическими проницаемостями

$\varepsilon_1 = 40$ и $\varepsilon_2 = 80$. Предполагая хаотическое распределение компонентов, определить состав керамики, если $TK\varepsilon_1 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$; $TK\varepsilon_2 = -1,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Чему равна диэлектрическая проницаемость композиционного диэлектрика?

VI

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани бесщелочного состава (см. табл.). Содержание связующего наполнителя в композите $x_{св} = 0,35$ (масс.).

Таблица

Основные свойства компонентов

Компонент	Плотность, кг/м ³	Диэлектрические свойства при частоте 10 ⁷ Гц	
		ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	1100	3,4	0,02
Стеклоармирующий наполнитель	2500	6,2	0,01

Определить объемные доли компонентов, плотность композита и его диэлектрическую проницаемость в случае перпендикулярном распространения электромагнитной волны.

VII

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани бесщелочного состава (см. табл.). Объемная доля связующего компонента в композите составляет $v_{св} = 0,57$.

Основные свойства компонентов

Компонент	Плотность, кг/м ³	Диэлектрические свойства при частоте 10 ⁷ Гц	
		ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	1100	3,4	0,02
Стеклоармирующий наполнитель	2500	6,2	0,01

Определить массовые доли компонентов, плотность композита и его диэлектрическую проницаемость в случае перпендикулярного распространения электромагнитной волны.

4. Тема: Диэлектрические свойства стеклопластиков. Расчет тангенса угла диэлектрических потерь стеклопластиков

Мощность диэлектрических потерь в неоднородном двухкомпонентном диэлектрике P равна сумме мощностей потерь, которая выделяется в каждом слое.

$$P = P_1 + P_2. \quad (4.1)$$

Или

$$U^2 2\pi f C \operatorname{tg} \delta = U_1^2 2\pi f C_1 \operatorname{tg} \delta_1 + U_2^2 2\pi f C_2 \operatorname{tg} \delta_2, \quad (4.2)$$

где U_1 , U_2 , U – напряжение на первом, втором слое и на двухслойном диэлектрике, C_1 , C_2 , C – емкость первого, второго слоя и двухслойного диэлектрика, $\operatorname{tg} \delta_1$, $\operatorname{tg} \delta_2$, $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь первого, второго слоя и двухслойного диэлектрика.

При параллельном смешении компонент тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{v_1 \operatorname{tg} \delta_1 + v_2 \operatorname{tg} \delta_2}{v_1 + v_2} \quad (4.3)$$

При последовательном смешении

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{v_1 \operatorname{tg} \delta_1 + v_2 \operatorname{tg} \delta_2}{v_1 + v_2} \quad (4.4)$$

В случае мелкодисперсной хаотической смеси $\operatorname{tg} \delta$ можно рассчитать только приблизительно по формуле

$$\operatorname{tg} \delta = v_1 \operatorname{tg} \delta_1 + v_2 \operatorname{tg} \delta_2 \quad (4.5)$$

$$\ln (\operatorname{tg} \delta) = v_1 \ln (\operatorname{tg} \delta_1) + v_2 \ln (\operatorname{tg} \delta_2) \quad (4.6)$$

Контрольные задания по теме «Расчет тангенса угла диэлектрических потерь стеклопластиков».

I

Стеклопластик изготовлен из фенолформальдегидного связующего и стеклоткани (см. табл.). Плотность монолитного стеклопластика равна $\rho = 1730$ кг/м³. Содержание стеклоармирующего наполнителя в композите $x_{cm} = 0,67$ (масс.), а объемная доля его в композите составляет $v_{cm} = 0,42$.

Таблица

Основные свойства компонентов

Компонент	Диэлектрические свойства при частоте 10^7 Гц	
	ε	$tg\delta$
Фенолформальдегидное связующее (в отвержденном состоянии)	4,5	0,015
Стеклоармирующий наполнитель	6,2	0,01

Определить плотность связующего наполнителя и плотность стеклоармирующего наполнителя, диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь стеклопластика в случае, когда электромагнитная волна распространяется перпендикулярно слоям стеклопластика.

II

Стеклопластик изготовлен из полиэфирного связующего и стеклоткани (см. табл.). Плотность монолитного стеклопластика равна $\rho = 1560$ кг/м³. Содержание связующего наполнителя в композите $x_{cv} = 0,35$ (масс.), а объемная доля его в композите составляет $v_{cv} = 0,54$.

Основные свойства компонентов

Компонент	Диэлектрические свойства при частоте 10^7 Гц	
	ε	$tg\delta$
Полиэфирное связующее (в отвержденном состоянии)	3,5	0,022
Стеклоармирующий наполнитель	5,6	0,05

Определить плотность связующего наполнителя и плотность стеклоармирующего наполнителя, диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь стеклопластика в случае, когда электромагнитная волна распространяется перпендикулярно слоям стеклопластика.

III

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани бесщелочного состава (см. табл.). Плотность монолитного стеклопластика равна $\rho = 1640 \text{ кг/м}^3$. Содержание связующего наполнителя в композите $x_{\text{св}} = 0,42$ (масс.), а объемная доля стекла в композите составляет $v_{\text{ст}} = 0,48$.

Основные свойства компонентов

Компонент	Диэлектрические свойства при частоте 10^7 Гц	
	ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	3,1	0,012
Стеклоармирующий наполнитель	5,9	0,015

Определить плотность связующего наполнителя и плотность стеклоармирующего наполнителя, диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь стеклопластика в случае, когда электромагнитная волна распространяется параллельно слоям стеклопластика.

IV

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани специального состава (см. табл.). Плотность монолитного стеклопластика равна $\rho = 1650 \text{ кг/м}^3$. Содержание стеклоармирующего наполнителя в композите $x_{ст} = 0,62$ (масс.), а объемная доля связующего наполнителя в композите составляет $v_{св} = 0,54$.

Таблица

Основные свойства компонентов

Компонент	Диэлектрические свойства при частоте 10^7 Гц	
	ϵ	$\text{tg}\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	3,4	0,024
Стеклоармирующий наполнитель	4,7	0,03

Определить плотность связующего наполнителя и плотность стеклоармирующего наполнителя, диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь стеклопластика в случае, когда электромагнитная волна распространяется параллельно слоям стеклопластика.

V

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани специального состава (см. табл.). Плотность монолитного стеклопластика

равна $\rho = 1960 \text{ кг/м}^3$, а плотность связующего наполнителя имеет значение $\rho_{св} = 1200 \text{ кг/м}^3$. Объемная доля связующего в композите составляет $v_{св} = 0,40$.

Таблица

Основные свойства компонентов

Компонент	Диэлектрические свойства при частоте 10^7 Гц	
	ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	3,1	0,012
Стеклоармирующий наполнитель	5,6	0,017

Определить массовые доли компонентов, плотность стеклоармирующего наполнителя, диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь стеклопластика в случае, когда электромагнитная волна распространяется параллельно слоям стеклопластика.

VI

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани специального состава (см. табл.). Плотность монолитного стеклопластика равна $\rho = 1780 \text{ кг/м}^3$, а плотность стеклоармирующего наполнителя имеет значение $\rho_{ст} = 2500 \text{ кг/м}^3$. Массовая доля связующего в композите составляет $x_{св} = 0,35$ (масс.).

Таблица

Основные свойства компонентов

Компонент	Диэлектрические свойства при частоте 10^7 Гц	
	ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	4,1	0,016

состоянии)		
Стеклоармирующий наполнитель	5,8	0,01

Определить объемные доли компонентов, плотность связующего наполнителя, диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь стеклопластика в случае, когда электромагнитная волна распространяется параллельно слоям стеклопластика.

VI

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани бесщелочного состава (см. табл.). Плотность монолитного стеклопластика равна $\rho = 1760 \text{ кг/м}^3$, а плотность связующего наполнителя имеет значение $\rho_{\text{св}} = 1100 \text{ кг/м}^3$. Содержание связующего наполнителя в композите $x_{\text{св}} = 0,33$ (масс.).

Таблица

Основные свойства компонентов

Компонент	Диэлектрические свойства при частоте 10^7 Гц	
	ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	3,4	0,02
Стеклоармирующий наполнитель	6,2	0,01

Определить объемные доли компонентов, плотность стеклоармирующего наполнителя, диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь стеклопластика в случае, когда электромагнитная волна распространяется перпендикулярно слоям стеклопластика.

VIII

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани бесщелочного состава (см. табл.). Плотность монолитного стеклопластика равна $\rho = 1780 \text{ кг/м}^3$, а плотность стеклоармирующего наполнителя имеет значение $\rho_{ст} = 2500 \text{ кг/м}^3$. Объемная доля связующего в композите составляет $v_{св} = 0,52$.

Таблица

Основные свойства компонентов

Компонент	Диэлектрические свойства при частоте 10^7 Гц	
	ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	3,9	0,015
Стеклоармирующий наполнитель	6,5	0,01

Определить массовые доли компонентов, плотность связующего наполнителя, диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь стеклопластика в случае, когда электромагнитная волна распространяется перпендикулярно слоям стеклопластика.

IX

Стеклопластик изготовлен из эпоксидного связующего и стеклоткани бесщелочного состава (см. табл.). Плотность монолитного стеклопластика равна $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$.

Основные свойства компонентов

Компонент	Плотность, кг/м ³	Диэлектрические свойства при частоте 10 ⁷ Гц	
		ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	1100	3,4	0,02
Стеклоармирующий наполнитель	2500	6,2	0,01

Определить объемные и массовые доли компонентов, диэлектрическую проницаемость композита и тангенс угла диэлектрических потерь в случае распространения электромагнитной волны перпендикулярно слоям стеклопластика.

X

Стеклопластик изготовлен из фенолформальдегидного связующего и стеклоткани бесщелочного состава (см. табл.). Содержание армирующего наполнителя в композите $x_{ст} = 0,67$ (масс.).

Основные свойства компонентов

Компонент	Плотность, кг/м ³	Диэлектрические свойства при частоте 10 ⁷ Гц	
		ε	$tg\delta$
Эпоксидное связующее (в отвержденном состоянии)	1230	4,7	0,013

Стеклоармирующий наполнитель	2500	6,2	0,01
------------------------------	------	-----	------

Определить объемные доли компонентов, плотность композита, его диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь в случае распространения электромагнитной волны параллельно слоям стеклопластика.

XI

Композиционный термокомпенсированный керамический материал (мелкодисперсная хаотическая смесь) изготовлен на основе двух диэлектриков (см. табл.).

Таблица

Основные свойства компонентов

Компонент	Плотность, кг/м ³	Диэлектрические свойства при частоте 10 ⁷ Гц		
		ϵ	$TK\epsilon, K^{-1}$	$tg\delta$
Первая компонента	1230	47	$2 \cdot 10^{-4}$	0,01
Вторая компонента	2500	62	$-1,5 \cdot 10^{-3}$	0,021

Предполагая хаотическое распределение компонентов, определить объемные и массовые доли компонентов, плотность, диэлектрическую проницаемость композита. Найти тангенс угла диэлектрических потерь материала, пользуясь приближенной формулой $tg\delta_{\text{смеси}} = \frac{V_1 tg\delta_1 + V_2 tg\delta_2}{\epsilon_{\text{смеси}}}$ для мелкодисперсной хаотической смеси.

XII

Композиционный материал (мелкодисперсная хаотическая смесь) изготовлен на основе двух диэлектриков (см. табл.). Плотность его равна 320 кг/м³.

Основные свойства компонентов

Компонент	Плотность, кг/м ³	Диэлектрические свойства при частоте 10 ⁷ Гц		
		ε	$TK\varepsilon, K^{-1}$	$tg\delta$
Первая компонента	120	1,2	$2 \cdot 10^{-4}$	0,01
Вторая компонента	520	2,3	$-1,5 \cdot 10^{-4}$	0,005

Предполагая хаотическое распределение компонентов, определить объемные и массовые доли компонентов, диэлектрическую проницаемость и температурный коэффициент диэлектрической проницаемости композита. Найти тангенс угла диэлектрических потерь материала, пользуясь приближенной формулой $tg\delta_{\text{смеси}} = \frac{tg\delta_1 + tg\delta_2}{1 - tg\delta_1 tg\delta_2}$ для мелкодисперсной хаотической смеси.