



Рис.2. Зависимость фазы коэффициента отражения открытого конца волновода от диэлектрической проницаемости примыкающей среды.

Как видно из рисунков, наиболее близкие к экспериментальным данным результаты дает кривая б, рассчитанная в приближении, что коэффициентом отражения от обрыва широких стенок прямоугольного волновода  $\Gamma_E$  можно пренебречь.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г., Терешин О.Н. Антенны УКВ. Ч.1. – М.:Связь, 1977.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Саноян А.Г., Занин А.Н.

Практический интерес к космическим технологиям (КТ) обусловлен перспективой устранения конвективных явлений в технологических рабочих средах (РС), вызывающих появление неоднородностей состава и

структуры РС. Это обстоятельство определяет перечень КТ, к числу которых следует отнести [1-4]:

- выравнивание атомных и молекулярных кристаллов;
- молекулярное и дисперсное разделение гетерогенных РС методом электрофореза.

Достигнутые в настоящее время уровни микро-гравитации (МГ) при проведении КТ, предполагают для их эффективного использования снижение уровня воздействия на РС прочих (негравитационных) возмущающих полевых факторов (ВПФ), способных оказать негативное влияние на КТ. Критичность КТ к ВПФ обусловлена как высокими требованиями к однородности РС и объектов КТ в целом, так и незначительным энергетическим содержанием процессов дефектообразования, сравнимым с флуктуационными факторами термодинамических параметров РС. Пренебрежения упомянутыми дополнительными ВПФ (помимо МГ), по всей видимости, является причиной имеющей место нестабильности и неоднозначности результатов современных КТ [5].

Настоящая работа посвящена вопросу оценки возможного негативного влияния на КТ возмущающих электромагнитных (ЭМ) полей, происхождение которых связано с работой бортовых систем космического аппарата (КА).

Методология рассмотрения основана на общих физических принципах, что позволяет ее использование и для других ВПФ, имеющих полевую природу воздействия на РС. По отношению к земным технологиям, для КТ характерно относительное уменьшение гравитационных воздействий на РС порядка  $10^{-3} \div 10^{-5}$ . В этой связи реализация преимуществ КТ предполагает стабилизацию прочих технологических параметров до относительного уровня  $10^{-3} \div 10^{-7}$  (с учетом принятия необходимых мер по стабилизации самой МГ на уровне  $1 \div 10\%$ ). Обеспечение приведенных уровней точностных показателей параметров КТ:

- является проблематичным даже для земных технологий;
- требует большей глубины проработки физико-химических моделей КТ;
- приводит к необходимости учета термодинамических флуктуаций параметров РС.

В свете вышесказанного, учитывая большое разнообразие и специфику элементарных процессов, составляющих основу КТ, и широкую гамму ВПФ, целесообразно рассмотреть вопросы влияния последних на КТ на основе достаточно универсальных физических представлений, например, энергетических. Суть энергетического подхода состоит в проведении сопоставительного анализа энергетического содержания рассматриваемого ВПФ и МГ. В этом случае, критерий энергетической эквивалентности имеет вид:

$$W_e = W_g, \quad (1)$$

где  $W_e$  и  $W_g$  - энергетическое содержание ВПФ и МГ.

В общем случае энергетическое содержание микрообъема РС, обусловленное ВПФ, равно

$$W = S^2/2M, \quad (2)$$

где  $S$  - механический импульс массовой силы, действующий на РС;  $M$  - масса микрообъема РС.

В дальнейшем, при определении  $W$  рассматриваются два частных случая массовых сил:

импульсный случай:

$$F_i = \begin{cases} F_0, & \text{при } 0 \leq t \leq \tau; \\ 0, & \text{при } t < 0; t > \tau; \end{cases} \quad (3)$$

гармонический случай:

$$F_j = F_0 \cos(\omega t), \quad \text{при } -\pi/2 < \omega t < \pi/2. \quad (4)$$

На основании выражений (2), (3), (4), для энергетического содержания микрообъема РС, обусловленного МГ, имеем:

$$W_{ig} = M \cdot a_0^2 \cdot \tau_g^2 / 2, \quad (5)$$

$$W_{jg} = M \cdot a_0^2 \cdot T_g^2 / 2 \cdot \pi^2, \quad (6)$$

где  $a_0$  - амплитудное значение ускорения МГ;

$\tau_g$  - длительность гармонического колебания МГ;

$T_g$  - период гармонического колебания МГ;

$M$  - масса микрообъема РС.

Выражения (5) и (6) используются далее (в соответствии с выражением (1)) для определения критических уровней напряженности электрического поля ЭМ возмущений.

Обращаясь к ЭМ возмущающему фактору, необходимо отметить следующее обстоятельство. Энергетический подход связан с силовыми представлениями в РС, имеющих нарушение электрической нейтральности на микро или макрокосмическом уровнях. В этом случае силовые параметры выражаются с помощью уравнения Лоренца [6]. Для последующего рассмотрения существенно то обстоятельство, что сила, обусловленная магнитной составляющей ЭМ поля, лишь искривляет путь движения зарядов, не совершая механической работы. Поэтому, с точки зрения энергетики воздействия ЭМ поля на РС, в дальнейшем будет учитываться только электрическая составляющая поля.

Предполагается, что РС находится в состоянии термодинамического равновесия, и механизм образования носителей заряда имеет термоакти-

вационный характер. В этом случае концентрация носителей заряда в РС может быть представлена в виде [7]:

$$n = N \exp(-W_a/kT), \quad (7)$$

где  $N$  - концентрация атомов (молекул) РС;

$W_a$  - энергия активации образования носителя заряда;

$k$  - постоянная Больцмана;

$T$  - абсолютная температура.

Носители заряда в РС, приобретая во внешнем электрическом поле векторизованную составляющую кинетической энергии, передают ее всему микрообъему РС посредством процессов диссоциации энергии.

С учетом принятых допущений, и используя выражения (2),(3),(4), для энергетического содержания ЭМ возмущения имеем:

$$W_{ic} = M \cdot q^2 \cdot \alpha \cdot E^2 \cdot \tau_e^2 \cdot /2 \cdot M_0^2; \quad (8)$$

$$W_{ic} = M \cdot q^2 \cdot \alpha \cdot E^2 \cdot T_e^2 \cdot /2 \cdot \pi \cdot M_0^2, \quad (9)$$

где  $q$  - величина заряда носителя;

$E$  - амплитудное значение напряженности электрического поля ЭМ возмущения;

$\tau_e$  - длительность ЭМ возмущения импульсного типа;

$T_e$  - период гармонических колебаний ЭМ возмущения;

$M_0$  - масса единичного атома РС;

$\alpha = \exp(-W_a/kT)$  - активационный фактор.

Выражения (5) и (8) справедливы для импульсного случая, а выражения (6) и (9) - гармонического случая.

В соответствии с принятым критерием (1), приравнивая выражения (5) и (8) (импульсный случай) и - (6) и (9) (гармонический случай), для критических значений напряженности ЭМ возмущений получаем:

$$E_i = E_0(\tau_d/\tau_e); \quad (10)$$

$$E_j = E_0(T_d/T_e); \quad (11)$$

$$E_0 = M_0 \cdot a_0 / q \cdot \alpha^{1/2} \quad (12)$$

На практике возможны и перекрестные сочетания импульсных и гармонических случаев возмущений, приводящие к появлению фрагментов типа  $(T_d/\tau_e)$ . Величина  $E_0$  является своеобразным эталонным значением критической напряженности электрического поля, соответствующим выполнению условий:  $\tau_d = \tau_e$  или  $T_d = T_e$ . Из выражений (10) и (11) следует, что реальные значения  $E_i$  и  $E_j$  могут испытывать значительные вариации в зависимости от величин отношений  $(\tau_d/\tau_e)$  или  $(T_d/T_e)$ .

Из выражений (5) и (6) следует, что энергетическое содержание МГ определяется факторами  $a_0 \tau_d$  и  $a_0 T_d$ , которые соответственно равны

$10^{-8} \div 10^{-2}$  м/с и  $1 \div 10^{-5}$  м/с. Последнее свидетельствует о том, что, несмотря на значительное расхождение параметров МГ от различных возмущающих факторов, их энергетические содержания перекрываются в достаточно широком интервале значений. В этой связи, при определении критических значений напряженности электрического поля, уместно использовать значения  $E_0$ . Анализ частотных факторов МГ и ЭМ возмущений свидетельствует, что  $T_d/T_e \approx 1 \div 10^4$  (кроме КБТС). Отсюда следует, что критические значения напряженности электрического поля  $E_j$  равны:

$$E_j = (1 \div 10^4) E_0, \quad (13)$$

где  $E_0$  - эталонные критические значения.

Подставляя в выражение (13) значения  $E_0$  (позиции, обозначенные индексами (а) и (б)), и сопоставляя полученные результаты с экспериментальными данными (таблица 3), можно сделать заключение об энергетической эквивалентности влияния ЭМ факторов (относительно МГ) на КТ, по всем практически значимым позициям, характерных для типичных режимов проведения процессов электрофоретического разделения компонент РС и выращивания атомных монокристаллов

С позиции энергетической эквивалентности возмущающих факторов проведен анализ негативного влияния собственных электромагнитных полей космического аппарата на космические технологии. Разработаны критерии электромагнитной чувствительности космических технологий. Получены численные значения критических параметров электромагнитных возмущений и проведен их сопоставительный анализ с параметрами электромагнитной обстановки в технологическом оборудовании, используемым в практике космических технологий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конвективные процессы в невесомости. В.И.Полегнаев, М.С.Белло, Н.А.Верезуб и др. - М.: Наука. 1991.-240 с.
2. Лебедев А.П. Механика невесомости: микро-ускорение и гравитационная чувствительность процессов массообмена при получении материалов в космосе.// ГЛЗ. №1. 1996. с3-52.
3. Гриппин С.Д., Лесков Л.В. Индустриализация космоса: проблемы и перспективы- М. Наука. 1987.-310с.
4. Картавых А.В., Копешович Э.С., Мильвидский М.Г. и др.// Кристаллография. 1997. Т. 42. №4. с755.
5. Мильвидский М.Г., Верезуб Н.А., Картавых А.В. и др. Выращивание монокристаллов полупроводников в космосе: результаты, проблемы, перспективы// Кристаллография. 1997.Т.42.№5.с.913.
6. Тамм И.Е. Основы теории электричества. - М.: Наука.1966.376с.
7. Левич В.М. Курс теоретической физики. - М.: Мир.1965.-423с.
8. Займан Д. Модели беспорядка. - М.: Мир.1982.-312с.