

ANALYSIS OF MICRO BENDING LOSSES IN OPTICAL FIBER

Angel Toshkov

Abstract: This paper reviews the influence of some design parameters of optical fibers to the macro bending losses. Below are the graphical results and are some conclusions

Keywords: macrobending, losses, optical, fiber, graphics, relations, influence, input, parameters.

АНАЛИЗ НА ЗАГУБИТЕ ОТ МАКРООГЪВАНИЯ В ОПТИЧНИ ВЛАКНА

Ангел Тошков

Абстракт: В статията се прави преглед на влиянието на някои конструктивни параметри на оптичните влакна върху загубите от макроогъвания. Представени са графични зависимости и са направени изводи от получените резултати.

Ключови думи: макроогъвания, конструктивни, параметри, влияние, графики, оптични влакна.

Въведение

Голяма част от загубите в оптичните влакна са в пряка зависимост от технологията на производство – например загубите от поглъщане от примеси, такива, които се дължат неконцентричност, елиптичност и др. Част от тези загуби имат постоянен характер и не зависят съществено от входните параметри на влакното.

Една част загубите, обаче се влияе много силно от конструктивните параметри. Това са загубите от огъвания, и по точно загубите от микро и макро огъвания. Поради тази причина, на този тип загуби се обръща особено внимание.

Загуби от макро огъвания има тогава, когато влакно е огънато с радиус по-голям в сравнение с диаметъра на влакното. Тези загуби се определят както обикновено по формулата $P(z) = P(0)e^{-\gamma z}$ където γ са загубите от макроогъвания в децибел, $P(0)$ е вкараната във влакното мощност, а $P(z)$ е изходната мощност, съответно на разстояние z .

В статията са дадени някои комплексни трикоординатни графични зависимости на загубите от макроогъвания за да могат да се видят тенденциите при комплексна връзка на два параметъра и тяхното взаимно влияние върху наблюдавания изходен параметър.

За пресмятането на загубите от макроогъвания има няколко различни модела. Един от тези модели [1], [2], е подходящ за изчисляване на загубите от макро огъвания за всеки режим LP, за основните и тези от по-висок порядък моди, при произволен профил на коефициента на пречупване на оптичните влакна. Използвайки уравнение 1 коефициентът γ на загубите от макро огъвания се изразява като функция на мощности, и на радиуса на огъване R_b в следния вид:

$$\gamma = \frac{\sqrt{\pi} \left(\frac{P_{clad}}{P} \right) \exp \left(\frac{-4\Delta W^3}{3r_c V^2} R_b \right)}{2sr_c \left[K_{\nu-1}(W) K_{\nu+1}(W) - K_{\nu}^2(W) \right]} \cdot \frac{1}{W \left(\frac{WR_b}{r_c} + \frac{V^2}{2\Delta W} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad 1)$$

Параметрите, включени по-горе са [3]:

$V = k_0 r_c \sqrt{n_{\max}^2 - n_{\min}^2}$ - нормирана характеристична честота (бездименсионна стойност)

$W = r_c \sqrt{\beta^2 - (k_0 n_{\min})^2}$ - лента на пропускане (MHz km)

$\Delta = \frac{(n_{\max}^2 - n_{\min}^2)}{2n_{\max}^2}$ - нормираната разлика в коефициентите на пречупване (бездименсионна стойност)

- $r_c = d/2$ - радиус на ядрото на влакното;
- n_{\max} и n_{\min} са максималните и минималните стойности на индекса на пречупване;
- β е константа на разпространение при конкретния режим;
- k_0 е константа във вакуум;
- ν е азимуталния номер на модата;
- $S = 2$, ако $\nu = 0$ или $S = 1$ за $\nu \neq 0$;
- K_{ν} е промяна на функцията на Бесел ;
- P_{clad} е мощността, разпространяваща се в обвивката;
- P е мощността, разпространяваща се в ядрото на влакното;
- R_b е радиуса на огъване на влакното.

Уравнение 2 е изведено по друг [2] модел за пресмятане на коефициента γ за загуби от макро огъвания.

$$\gamma = \left(\frac{\pi V^8}{16r_c R_b W^3} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left(-\frac{4}{3} \frac{R_b}{r_c} \frac{\Delta W^3}{V^2} \right) \frac{\left[\int_0^{\infty} (1-f) F_0 R dR \right]^2}{\int_0^{\infty} F_0^2 R dR} \quad 2)$$

където F_0 е диаметърът на радиалното модово поле на основната мода LP_{01} или , $F_0 = 2w_0$.

Радиусът на модовото поле w_0 при постоянен радиус на сърцевината a е функция само на V параметъра, който от своя страна зависи от числената апертура NA и дължината на вълната λ [4]. На базата на този модел е изведена проста апроксимация за едномодово влакно със стъпално-радиален профил, която в обхвата за V параметъра $1,6 < V < 2,6$ описва зависимостта на w_0 от радиуса на сърцевината a , λ , V параметъра и λ_c - критичната дължина на вълната и:

$$2w_0 \approx \frac{2.6}{V} a \frac{\lambda}{\lambda_c}, \quad (3)$$

$$f = \frac{n(r)^2 - n_{\min}^2}{n_{\max}^2 - n_{\min}^2} \quad (4)$$

$n(r)$ е коефициентът на пречупване от профила на влакното в точка от ядрото;

r – е разстоянието от центъра на ядрото до точката в която правим изчислението.

Тези два модела дават подобни резултати [3] за влакна със стъпално-радиален профил на коефициента на пречупване.

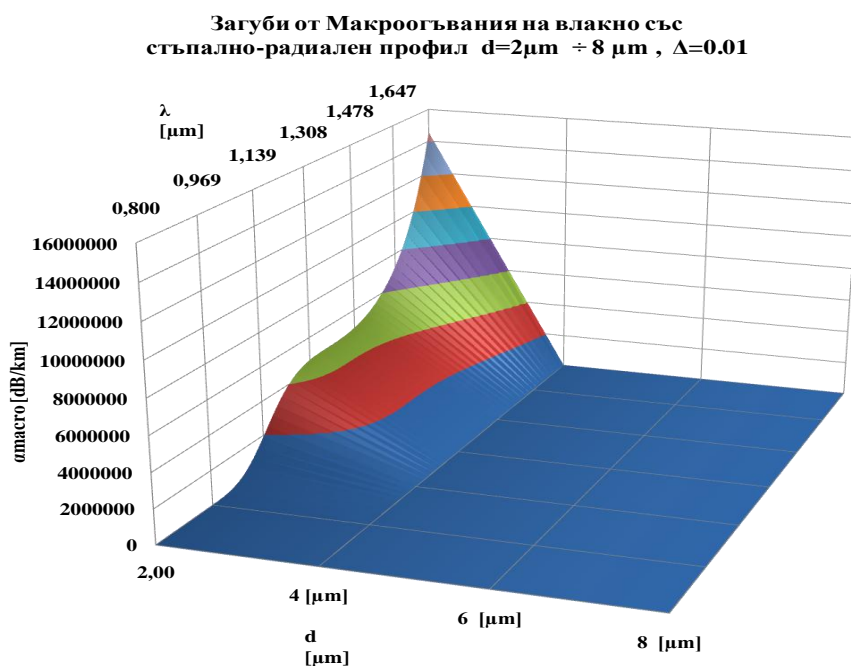
Коефициентът на загубите γ може да бъде конвертиран до загуби в децибели на километър, както следва:

$$\alpha_{macro} = \frac{10}{L} \log \frac{P_{in}}{P_{out}} = \frac{10}{L} \log[\exp(\gamma L)] = \frac{10}{\ln 10} \gamma \text{ dB/km}. \quad (5)$$

Графични зависимости на загубите от макроогъвания [3]

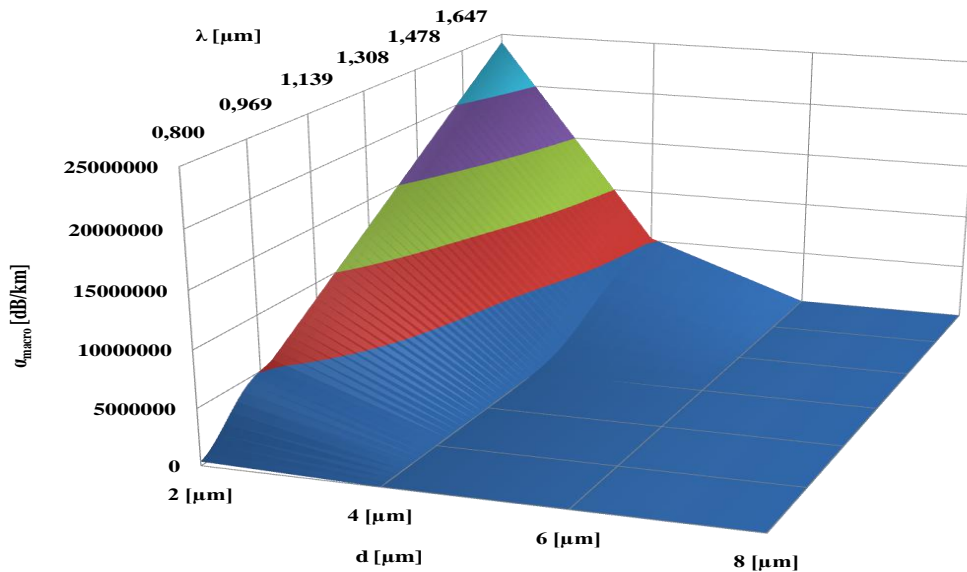
На базата на показаните по-горе модели, по надолу са показани в графичен вид връзките между някои от управляващите параметри - n , d , Δ и g и загубите от макроогъвания. За извеждането на тези резултати е избрана една от популярните функции за изграждане на профила на коефициента на пречупване g - ric функция -

$n(x) = n_{\max} \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{a}{r}\right)^g}$, където g е стойността на степения показател. Входните параметри се променят в диапазони подходящи за производството на реални едномодови и многомодови оптични влакна.



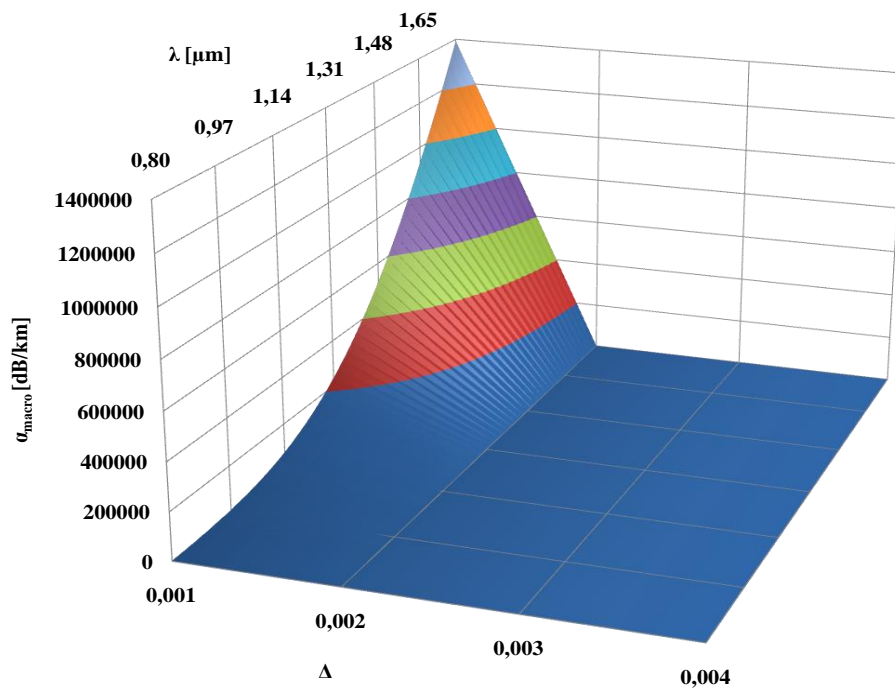
Фигура 1

Загуби от Макроогъвания на с градиентно-радиален профил
 $g=2, d=2\mu\text{m} \div 8\mu\text{m}, \Delta=0,01$



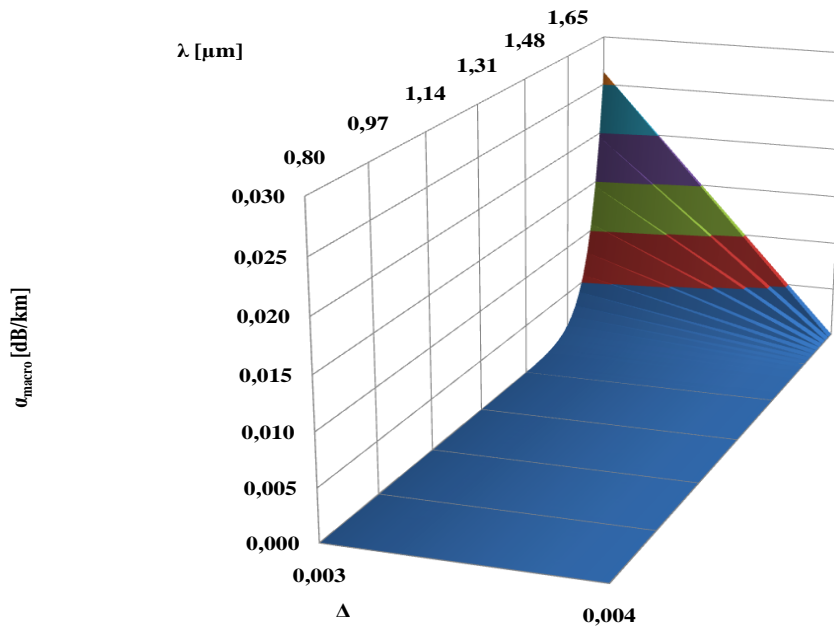
Фигура 2

Загуби от Макроогъвания на влакно с градиентно-радиален профил $g=2, d=50\mu\text{m}$



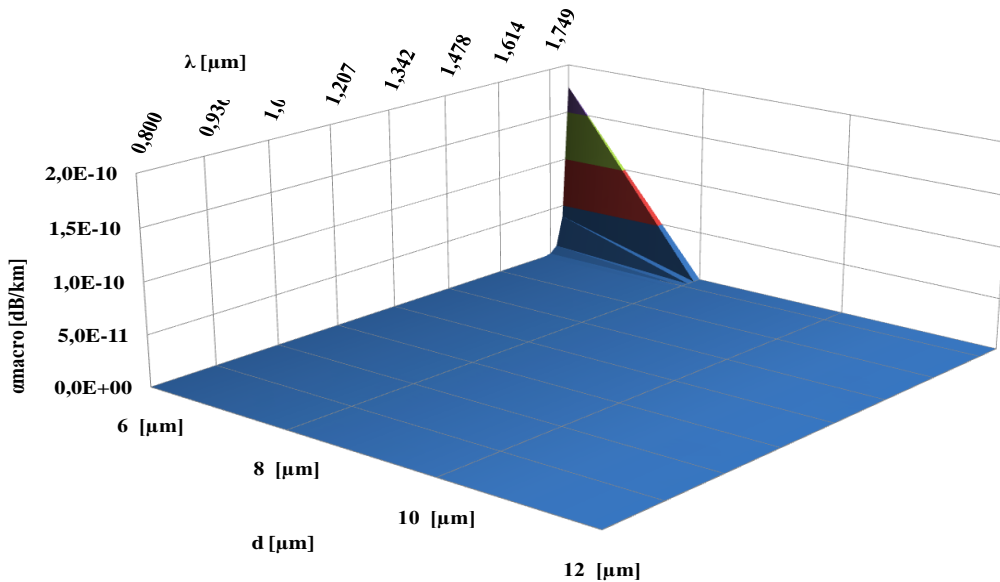
Фигура 3

Загуби от Макроогъвания на влакно с градиентно-радиален профил $g=2$, $d=50 \mu\text{m}$

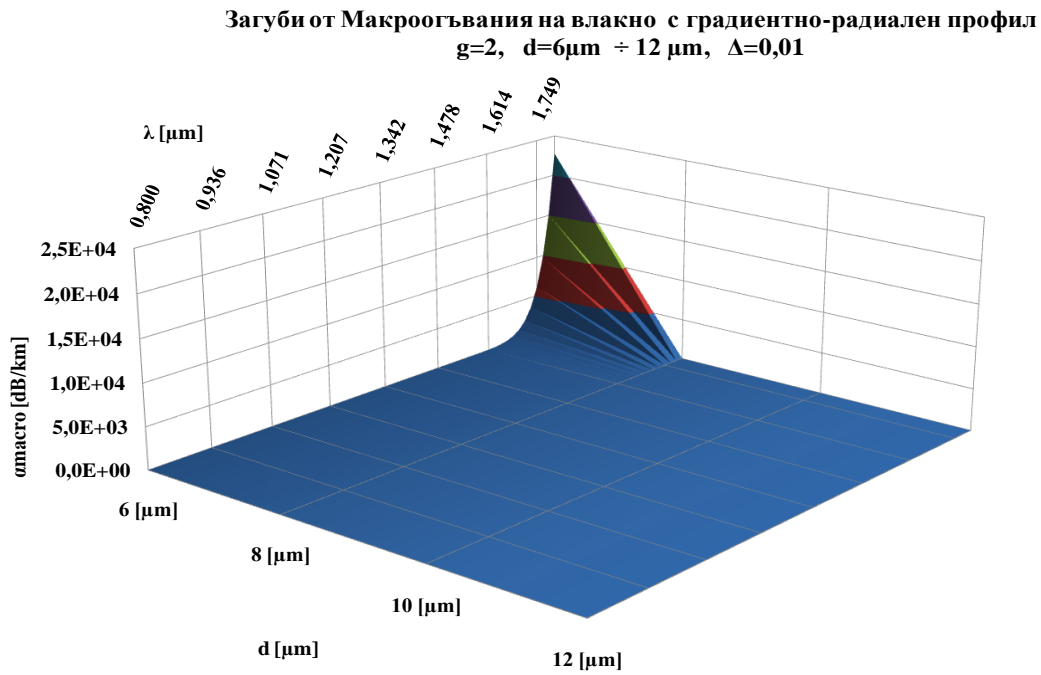


Фигура 4

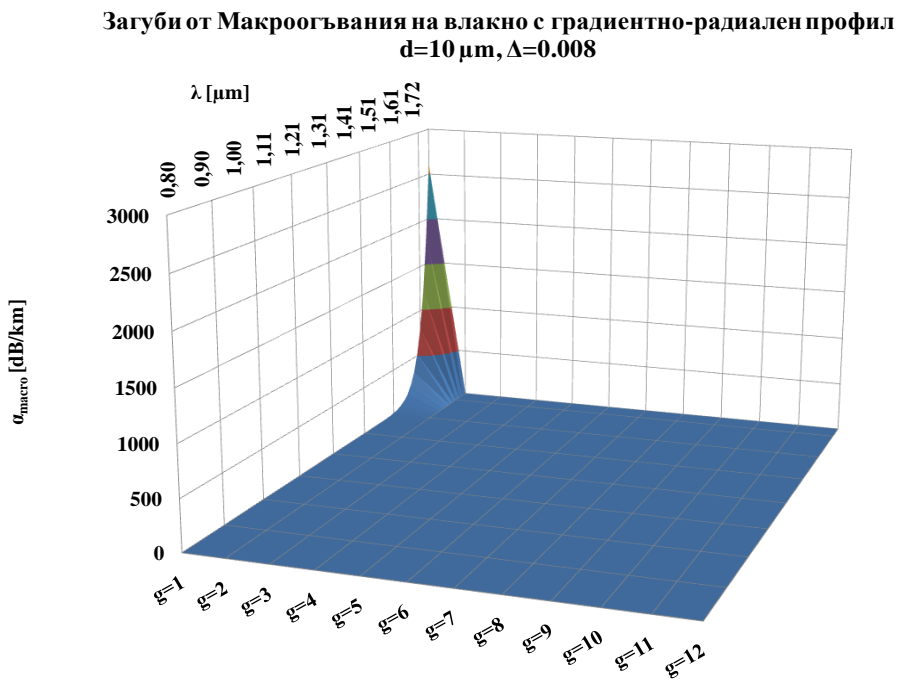
Загуби от Макроогъвания на влакно със стъпално-радиален профил $d=6\mu\text{m} \div 12 \mu\text{m}$, $\Delta=0.01$



Фигура 5

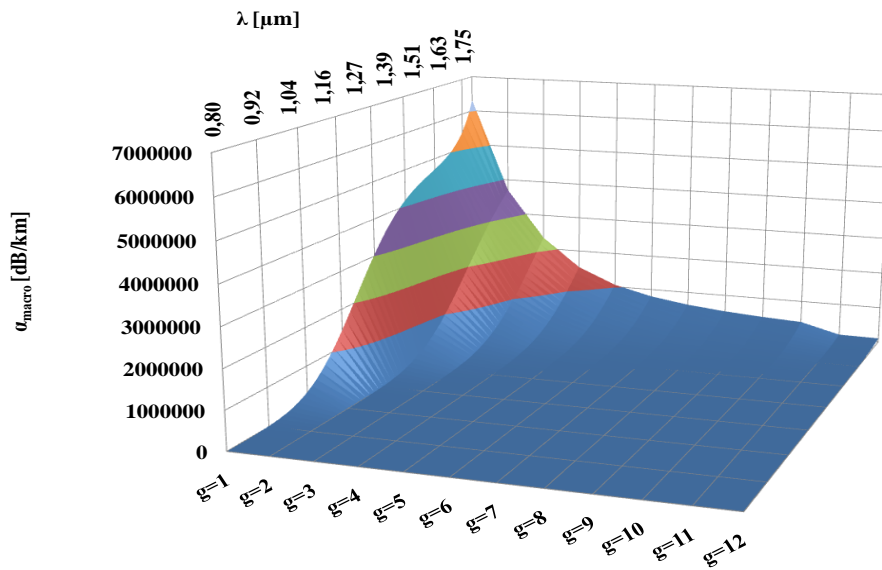


Фигура 6



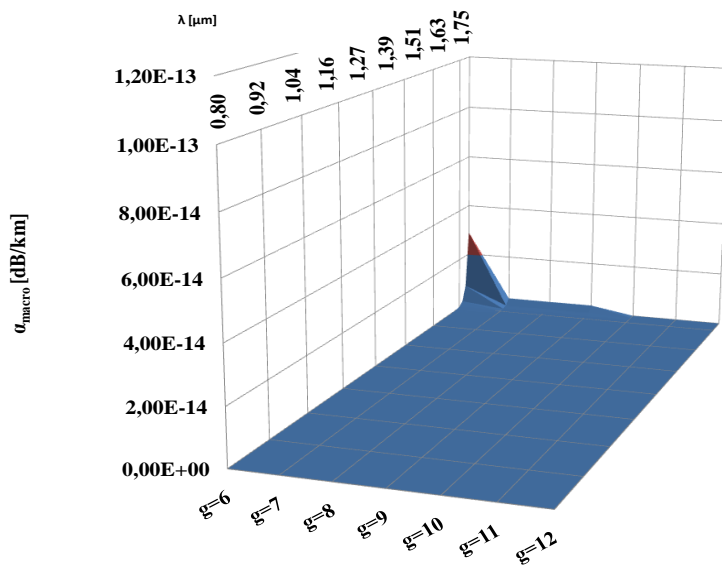
Фигура 7

Загуби от Макроогъвания на влакно с градиентно-радиален профил $d=10\ \mu\text{m}$, $\Delta=0.003$



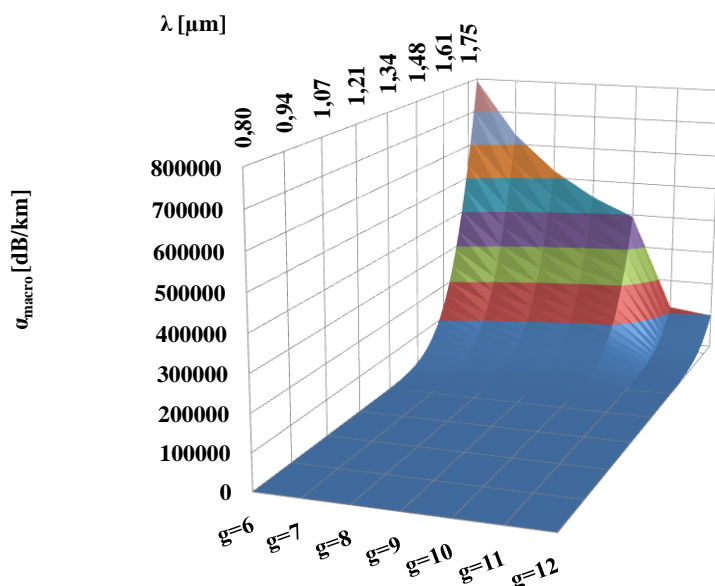
Фигура 8

Загуби от Макроогъвания на влакно с градиентно-радиален профил $d=10\ \mu\text{m}$, $\Delta=0.008$



Фигура 9

Загуби от Макроогъвания на влакно с градиентно-радиален профил $d=10\ \mu\text{m}$, $\Delta=0.003$



Фигура 10

Изводи.

Загубите от макроогъвания проявяват силно изразен характер при нарастване на дължината на вълната. Това се отнася особено до влакната с профил близък до градиентния и за дължини на вълните в оптичен прозорец II и III - Фиг. 1 до 10. [3] [4]

Трябва да отбележим факта, че за влакна с $\Delta=0,01$ и $g=2$ загубите имат изключително високи стойности достигащи до 10^6 и нагоре dB/km при диаметри на ядрата под $4\ \mu\text{m}$ (Фиг. 1,2,3).

Подобен ефект се наблюдава и при намаляването на Δ , като при стойности на g под 2, Δ под 0,005 и диаметър на ядрото d под $4\text{--}6\ \mu\text{m}$ тези ефекти имат силно изразен характер Фиг. 3,4,9.

При оптични влакна с голям диаметър $d > 20\ \mu\text{m}$, тези загуби нямат практическа стойност (освен при много малки стойности на $\Delta < 0.003$ в комбинация с $g=1$) Фиг.5 и 6.

Този тип загуби нарастват значително при намаляване на диаметъра на ядрото – обикновено под $6\text{--}4\ \mu\text{m}$. Фиг. 1,2,

Същото се отнася и за намаляването на Δ под 0,005, както и за намаляването на g под 2. Фиг. 8,9,10.

Необходим е много внимателен подбор на управляващите параметри n , d , Δ и g , особено при конструиране на влакна с дължини на вълната в оптичен прозорец III, за да се постигнат минимални загуби от макроогъвания.

References:

- [1]. J. Sakai, and T. Kimura, “Bending loss of propagation modes in arbitrary-index profile optical fibers”, Applied Optics vol. 17, no. 10, pp 1499-1506, May 1978
- [2]. Optical Fiber Design Software, Technical Documentation, 2006 Optiwave.
- [3]. ТОШКОВ А., „Анализ на връзките между конструктивните и експлоатационните параметри на оптичните влакна”, Монография, Бургас, 2011, Изд. „Онгъл”, Варна.
- [4]. ТОШКОВ А., „Оптични комуникации”, БСУ, 2005.