



ГРАФИЧНО ПРЕДСТАВЯНЕ НА ВРЪЗКИТЕ МЕЖДУ ПАРАМЕТЪРА „ЗАГУБИ ОТ МАКРООГЪВАНЕ“ И НЯКОИ ВХОДНИ ПАРАМЕТРИ НА ОПТИЧНИТЕ ВЛАКНА

Ангел Захариев Тошков
angel@bfu.bg
Бургаски свободен университет

GRAPHICAL PRESENTATION OF RELATIONS BETWEEN THE PARAMETER “MACRO BENDING LOSSES” AND SOME INPUT PARAMETERS OF OPTICAL FIBERS.

Angel Zahariev Toshkov
angel@bfu.bg
Burgas Free University

Abstract: The article presented graphical links between some constructive parameters of optical fiber and the parameter - macro bending losses. The graphics are made based on known mathematical model. Dependencies are three-dimensional, for better visualization of complex relationships.

Key words: optical fibers, losses, macro bending, graphical presentation, parameters, relation.

Основни модели на загуби от макро огъвания

Загуби от макро огъвания има тогава, когато оптична мощност преминава през оптично влакно огънато с радиус, който е значително по-голям в сравнение с диаметъра на влакното. Те се определят както обикновено с $P(z) = P(0) \cdot \exp(-\gamma z)$, където γ са загубите от макроогъвания в децибели, $P(0)$ е вкараната във влакното оптична мощност, а $P(z)$ е изходната мощност, съответно на разстояние z . Известни са два основни модела на загуби от макро огъвания [1][2].

Първият модел [3] [4] 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 показаната по-долу формула коефициентът на загубите от макро огъвания γ се изразява като функция на мощности и на радиуса на огъване R_b в следния вид:

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

Параметрите включени във формулата са:

$V = k_0 r_c \sqrt{n_{max}^2 - n_{min}^2}$ – 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 – 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

Вторият модел за пресмятане на коефициента γ за загуби от макро огъвания се базира на постановката:

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

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 NA и λ . Изведена е 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 и V параметъра:



$$2w_0 \approx \frac{2.6}{V} a \frac{\lambda}{\lambda_c}$$

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

$n(r)$ 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.

Двата модела дават подобни резултати за влакна със стъпално-радиален профил на коефициента на пречупване.

Коефициентът на загубите γ може да бъдат конвертирани до загуби в децибели на километър, както следва:

$$(3) \quad \alpha_{macro} = \frac{10}{L} \log \frac{P_{in}}{P_{out}} = \frac{10}{L} \log[\exp(\gamma L)] = \frac{10}{\ln 10} \gamma \text{ [dB/km]}.$$

Комплексни графични зависимости на загубите от макроогъвания

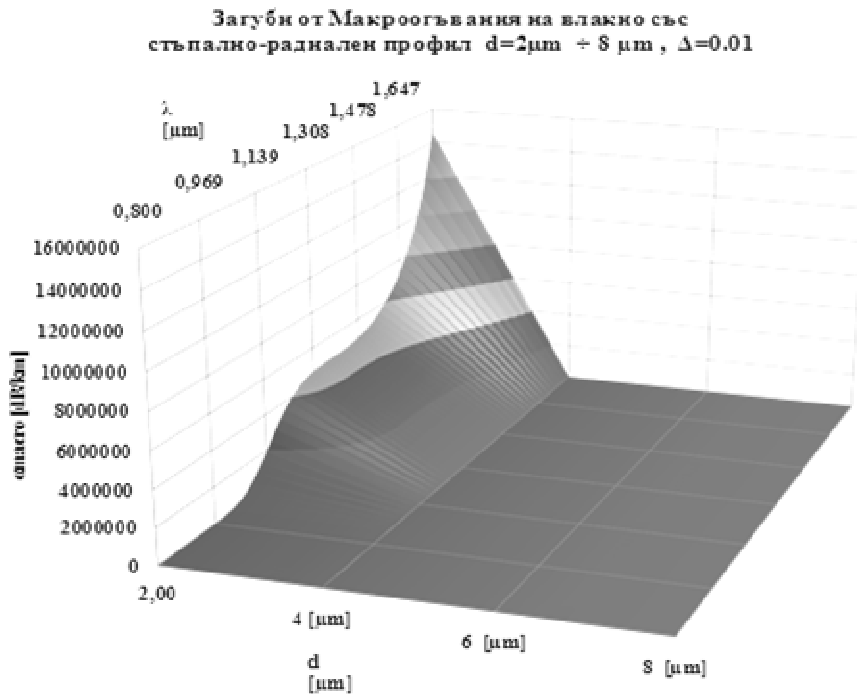
На базата на теоретичените зависимости между параметрите на оптично влакно [1][2][4] в статията са представени комплексни зависимости между някои от най-важните входно-изходни параметри на оптични влакна с различни конструкции.

Както е показано в [1][2] голяма част от загубите са присъщи на материалите от които е изградено оптичното влакно. Това са загубите от ултравиолетово и инфрачервено разсейване, Релеево разсейване и др. Голяма част от тези загуби са в пряка зависимост от технологията на производство – например загубите от поглъщане от примеси, тези, които се дължат неконцентричност, елиптичност и др. Част от тези загуби имат постоянен характер и не зависят съществено от входните параметри на влакното.

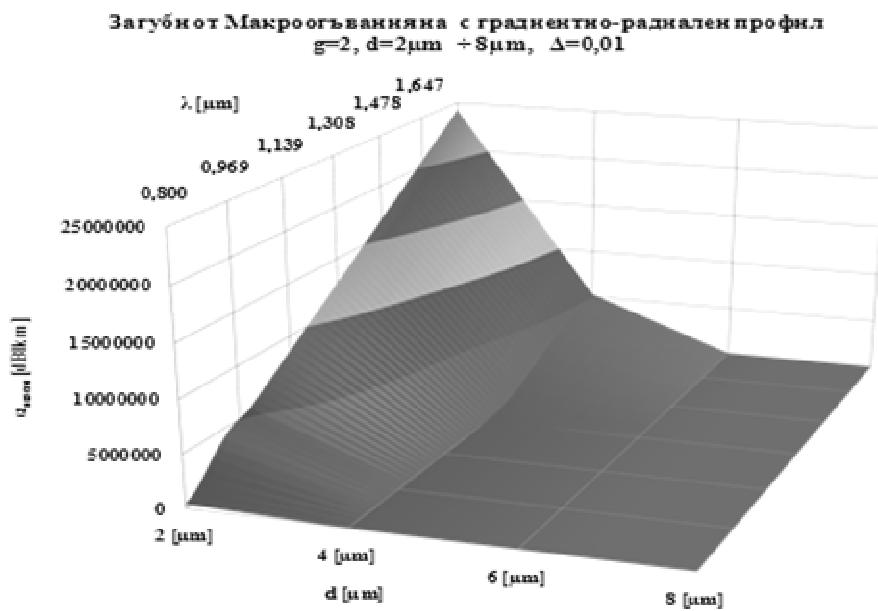
Една част загубите, обаче се влияе много силно от конструктивните параметри [1][2][4]. Това са загубите от огъвания, и частност загубите от макро огъвания.

По надолу са изведени някои графични зависимости на тези загуби от основни входни параметри. Зависимостите са комплексни – трикоординатни, за да могат да се видят тенденциите при комплексна връзка на два параметъра и тяхното взаимно влияние върху наблюдавания изходен параметър.

Фигура 1



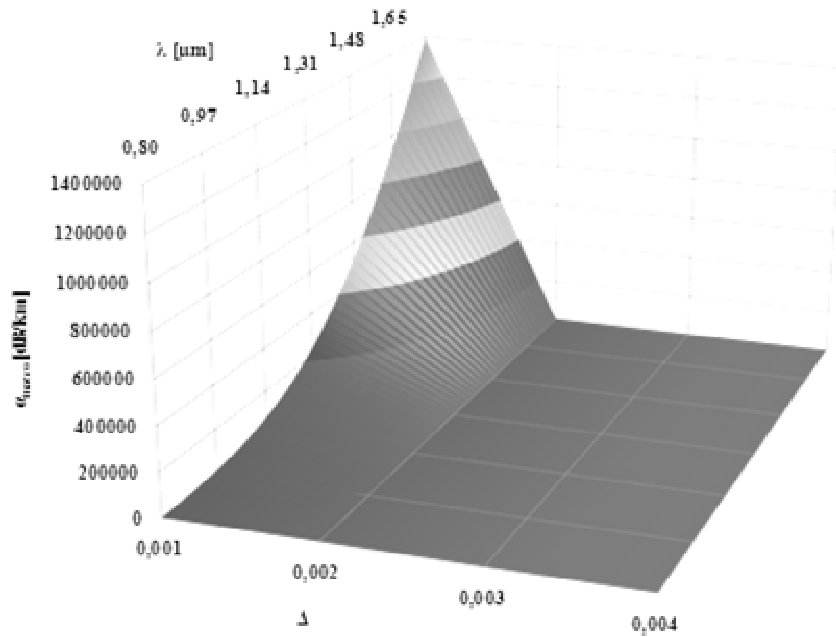
Фигура 2





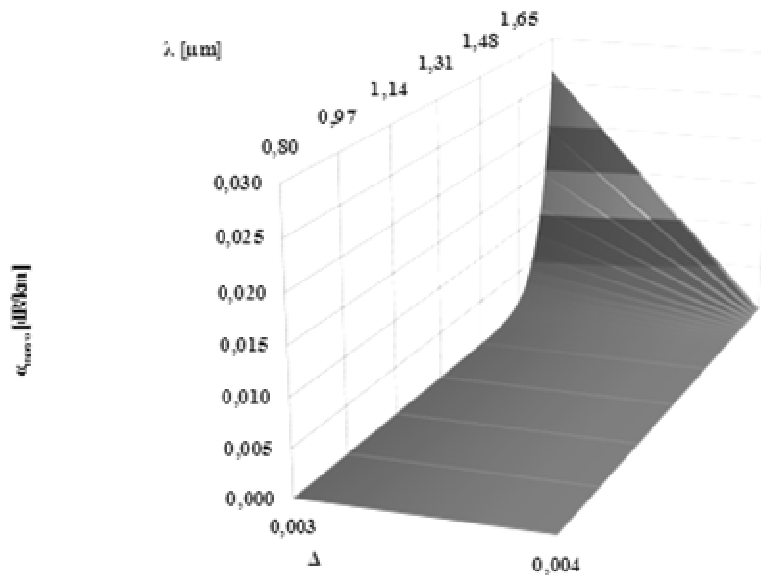
Фигура 3

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

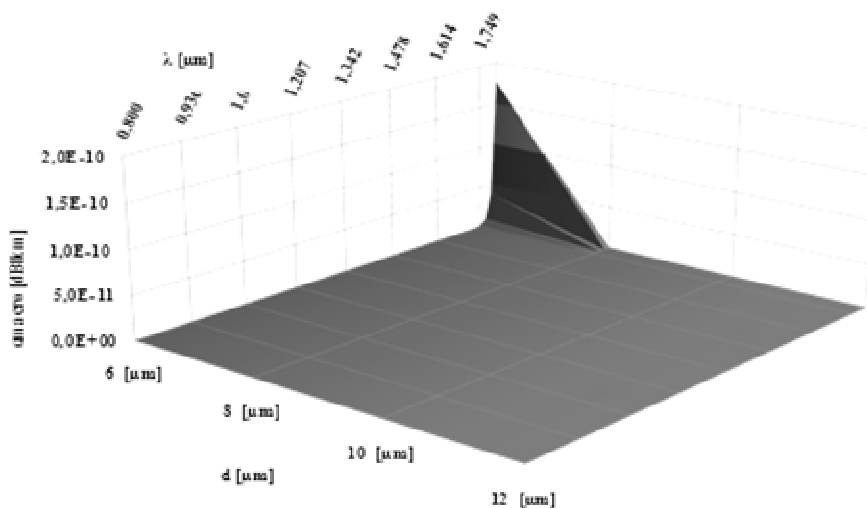


Фигура 4

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

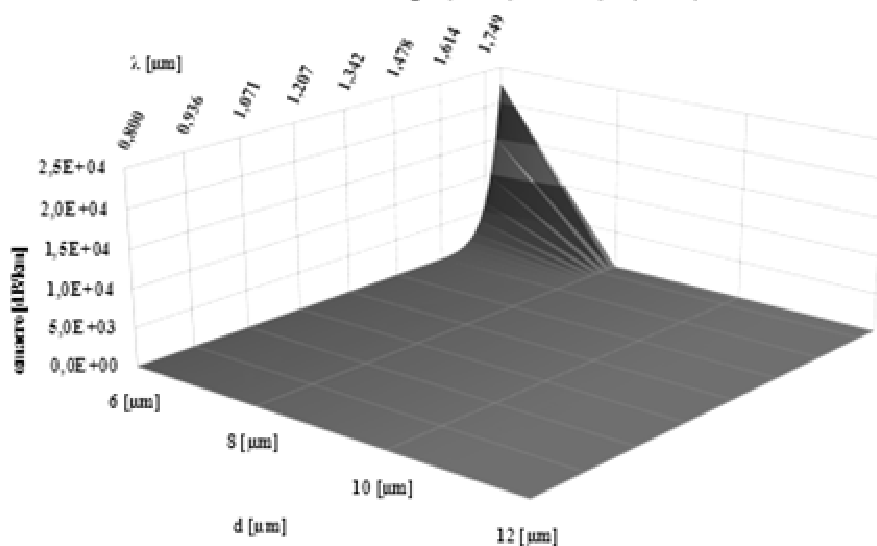


Фигура 5
 Загуби от Макроогъвания на влакно със
 стъпално-радиален профил $d=6\mu\text{m} \div 12\mu\text{m}$, $\Delta=0.01$



Фигура 6

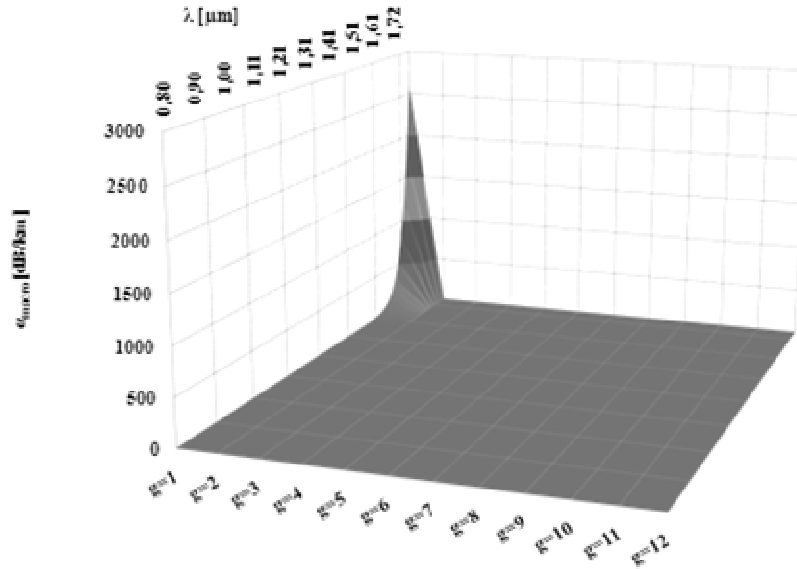
Загуби от Макроогъвания на влакно с градиентно-радиален профил:
 $g=2$, $d=6\mu\text{m} \div 12\mu\text{m}$, $\Delta=0.01$





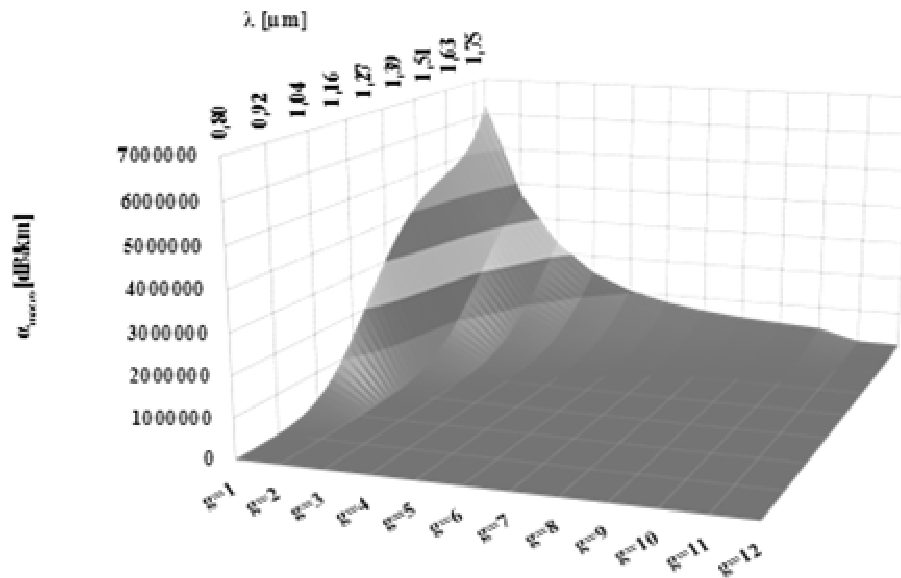
Фигура 7

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



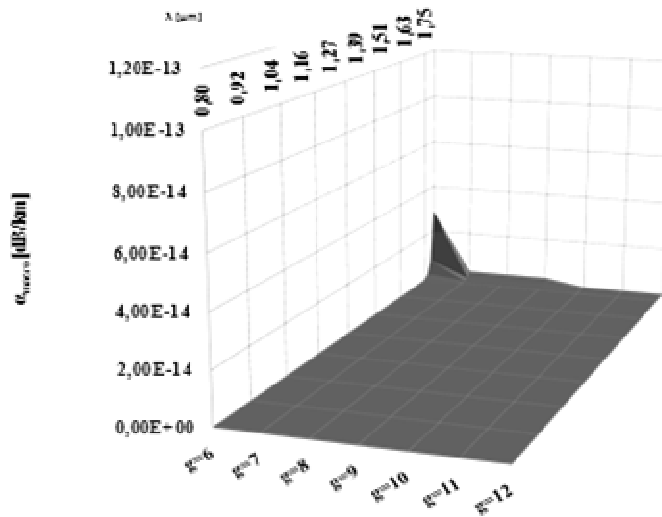
Фигура 8

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



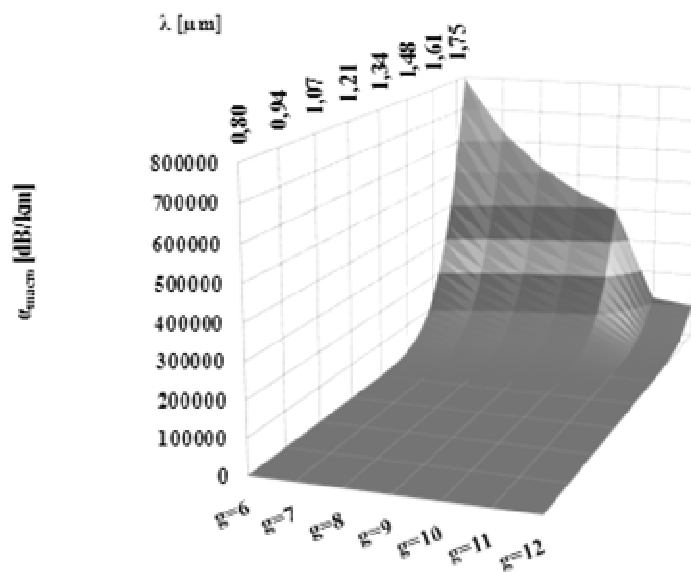
Фигура 9

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



Фигура 10

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





Изводи:

На фиг. 1 до 10 са представени загубите от макроогъвания за оптични влакна със стъпално-радиален и с градиентно-радиален профил на коефициента на пречупване. Опорната стойност на параметърът Δ е приет за 0.01, което е една средна стойност при изграждане на такива влакна.

Основното за отбелязване тук е, 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 $4\mu\text{m}$.

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.

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.

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 $g=1$).

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

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

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.

Предоставянето на този комплексен графичен материал дава значителни възможности за сравнителна оценка на резултатите, получени при други методи на пресмятане на тези загуби.

Представените графични резултати демонстрират възможностите на този метод за извършването на многопосочен анализ при решаване на различни задачи относно определяне на тенденциите на загубите макроогъвания α_m за различни конструкции на оптични влакна. Подобен подход е възможен и за всички останали изходни параметри на оптичните влакна и е предпоставка за бъдеща работа в това направление.

Литература

1. Тошков А. З., Анализ на връзките между конструктивните и експлоатационните параметри на оптичните влакна, Варна, 2011
2. Тошков А. З., Изследване на някои неосновни загуби в оптичните влакна, Присъединяването на България към Европейския съюз – предизвикателства, проблеми, перспективи, Бургас, БСУ, 2006
3. K. Okamoto, Fundamentals of Optical Waveguides, (Academic Press, San Diego, 2000).
- 4 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