



Получена: 24.07.2023 г.

Приета: 17.10.2023 г.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НОРМАТИВНАТА БАЗА В ОБЛАСТТА НА АКУСТИКАТА НА УЧЕБНИ ПОМЕЩЕНИЯ В ЕВРОПЕЙСКИТЕ СТРАНИ И ПРИЛОЖЕНИЕ У НАС

Н. Иванова¹, С. Джамбова²

Ключови думи: акустика, нормативна база, строителна физика, строителни материали

РЕЗЮМЕ

Акустичната обработка на учебните помещения е от съществена важност за възприемането и за здравето на учащите се и преподавателите. Акустиката на помещения е заложена в нормативната база на европейските страни и се прилага на практика за постигане на оптимална акустична обстановка в учебните зали и работните места. Европейският съюз налага стандарти за измервания на показателите, но изискванията са предмет на самите страни. В разработката се изследва европейският опит и практическите насоки, залегнали от многогодишните стремежи за постигане на максимално добри акустични условия. Този анализ може да помогне за получаване на по-ясна представа при работата със стандартите в тази област, както и да е полезен при създаването на други национални изисквания. Освен това за онагледяване на съществуващото състояние бяха измерени няколко учебни зали и стаи, някои от които показаха незадоволителни резултати по отношение на времето на реверберация. Затова се предложи вариант на акустична обработка за постигане на изискванията на националната наредба и съществуващите наложени предписания.

¹ Наталия Иванова, гл. ас. д-р инж., кат. „Физика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: bobeva_fhe@uacg.bg

² Светлана Джамбова, доц. д-р, кат. „Физика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: std_fhe@uacg.bg

1. Въведение

Архитектурната акустика се занимава със закономерностите на разпространението на звука в помещения. Във всяко помещение съществува пряк звук – това е звукът, който идва директно от източника, и отразен звук, който достига до слушателя след отразяване от различните повърхности, ограничаващи помещението (стени и под) или намиращи се в него (мебели и други предмети). При сумирането на прякия и отразения звук в помещението вследствие на интерференцията се сформира звуково поле с определени нива на звуковото налягане в отделните точки от обема [1].

Има различни мнения, че акустиката е въпрос на късмет, но в действителност преценката на пространствено-акустичните качества на едно помещение, особено за музика, се влияят от субективни и емоционални фактори. За малки помещения с правилна форма, каквито са учебните зали, семинарните стаи и стаите за говор, са известни принципите и са натрупани основни познания за акустичните зависимости, които трябва да се познават още в процеса на проектиране, за да се избегнат негативните усещания и да се налагат много по-скъпите акустични мерки впоследствие. Затова е необходимо тези познания да се предават на архитекти и проектанти, което в момента се прави в обучението по строителна физика на специалност архитектура. Това би трябвало да е систематичен обмислен процес на преподаване и прилагане в практиката.

Специално за учебните зали с обем от 150 до 500 m³, замислени за 30 – 150 души, акустичното проектиране би трябвало да може да се изпълни от всеки проектант на такива помещения. В зависимост от функцията на помещението трябва да се подберат правилно размерите и формата, облицовката по стени и тавани, подходящото изграждане на пода и т.н. В тази статия се разглеждат основните критерии за акустична оценка на учебни зали. Такава оценка беше направена на съществуващи учебни зали и резултатите от измерванията показаха съществено надхвърляне на допустимите изисквания за ново ремонтирани учебни стаи, особено поради факта, че са поставени неподходящи покрития, като напр. смяната на подовата настилка с плочки влошава значително акустичните качества на помещението.

За да се избегнат и други такива грешки при нови и реконструкция на съществуващи помещения, се налага разяснението на нормативните изисквания и начина им на проектиране, за да се удовлетворят и по този начин да се запази здравето както на учащите се, така и на преподавателите.

Тъй като настоящата нормативна уредба в това отношение у нас е непълна и липсват указания за проектиране, има нужда от задълбочаване в тематиката и разработване на научни проекти и учебни материали.

2. Основни акустични показатели

2.1. Време на реверберация

Времето на реверберация е основен акустичен показател, заложен като изискване във всички страни. Това представлява времето, за което настъпва затихване на нивото на звуково налягане в помещението с 60 dB, след спиране на източника. Времето на реверберация се изчислява съгласно формулата на Сабин, вж. форм. (1). Оптималното време на реверберация зависи от предназначението на даденото помещение и се задава като изискване по честоти. За доказване на полученото време на реверберация на готовото помещение, то се измерва на място съгл. БДС EN ISO 3382-2 [2].

$$T = 0,163 \frac{V}{A_{\Sigma}}, \quad (1)$$

където T е времето на реверберация в s,

V – обемът на помещението в m^3 ,

а величината A се нарича еквивалентна площ на звукопоглъщане на дадена повърхност в m^2 . Тя представлява площта на самия материал, която би погълнала напълно звука и се определя по формула 2.

$$A = \alpha S, \quad (2)$$

където α е коефициент на звукопоглъщане, честотно зависим.

$$A_{\Sigma} = \sum \alpha_i S_i + \sum A_i. \quad (3)$$

Сумарното еквивалентно звукопоглъщане A_{Σ} се определя по форм. (3) и представлява сумата от произведенията на коефициентите на звукопоглъщане на отделните повърхности по тяхната площ, а $\sum A_i$ е сумата от звукопоглъщането на мебелите и хората, намиращи се в помещението.

Коефициентът на звукопоглъщане е отношението на погълнатата енергия към падналата. Силно звукопоглъщащите материали имат високи стойности (0,7 – 0,9), а рефелектиращите, като бетон, мазилка – ниски стойности (0,02 – 0,05), като при плоскостите зависи също от разстоянието и начина на закрепване, дебелината и др. Тези стойности също са по честоти и се получават чрез измерване в реверберационно помещение в съгл. БДС EN ISO 354 [3]. Такива могат да се намерят в специализираната литература или в интернет и служат за данни при проектиране на акустиката на помещения.

Друг показател, задаван като изискване за помещения за говор в някои страни, е разбираемост STI, като това са стойности, отнесени към речева разбираемост.

STI се измерва с комплексен шумов сигнал съгл. БДС EN 60268-16 [4]. Той лесно и обективно дава информация за разбираемостта в една зала. Има стойности от 0 до 1, като от 0 – 0,3 – лоша, 0,3 до 0,45 слаба, от 0,45 до 0,6 – неутрална, от 0,6 до 0,75 – добра, а от 0,75 до 1 – отлична.

3. Нормативна база в областта на акустиката в помещения у нас и в някои европейски страни

3.1. Анализ на състоянието

Нормативната база за акустиката на помещенията в Европа се основава на стандартите, издадени от Европейския комитет за стандартизация (CEN – European Committee for Standardization) [5]. Българският институт за стандартизация (БИС) [6] е националният орган за стандартизация в Република България. „ТК 82 – Акустика. Шум и вибрации“ въвежда хармонизирани европейски стандарти в подкрепа на националното законодателство.

БИС/ТК 82 участва като огледален в работата на европейски и международни технически комитети, като:

CEN/TC 126 Акустични свойства на строителни елементи и на сгради [Acoustic properties of building elements and of buildings];

CEN/TC 211 Акустика [Acoustics];

CEN/TC 231 Механични вибрации и удар [Mechanical vibration and shock];
 CEN/SS S01 Акустика и звукова изолация [Acoustics and sound insulation];
 ISO/TC 43 Акустика [Acoustics];
 ISO/TC 43/SC 1 Шум [Noise].

Стандартите допринасят за постоянно задълбочаване на единния пазар и поради това Европейският съюз налага единни стандарти за измервания на акустичните показатели, като EN ISO 354 [3] се занимава с измервания в лабораторни условия, а EN ISO 3382 [2], БДС EN 60268-16 [4] с измервания на място. След като се получат данни за звукопоглъщането на материалите и се направи необходимото проектиране със заложен изисквания за време на реверберацията за съответното по вид помещение, е необходимо да може да се провери с измерване дали са постигнати стойностите и дали акустиката отговаря за съответното предназначение на помещението. Изискванията, които трябва да се постигнат, се залагат на национално ниво, като стойностите се определят от всяка страна според специфичните им особености и характеристики. В областта на акустиката на учебни зали изискването за време на реверберация е в зависимост от обема на помещението. За да може да се направи сравнение с европейските страни като пример може да се даде препоръчителната стойност от $0,5 \pm 0,05$ s за времето на реверберация за учебни зали с обем под 300 m^3 , заложена в ръководство на немската федерална служба по околната среда [12].

3.2. Изисквания за акустика в учебни помещения у нас

Наредба № РД-02-20-3 [7] дава много обобщени изисквания, понякога само с една стойност за три честоти на времето на реверберация, представени в табл. 1.

Таблица 1. Максимална продължителност на времето за реверберация T , s в свободни, напълно завършени класни стаи и в други учебни пространства, съгласно НАРЕДБА № РД-02-20-3 от 21.12.2015 г.

№ по ред	Учебно пространство	Максимално време на реверберация за нива на звуково налягане в октавни ленти със средни честоти 500, 1000 и 2000 Hz, s
1.	Основни учебни пространства със затворен обем $< 283 \text{ m}^3$	0,6
2.	Основни учебни пространства със затворен обем $> 283 \text{ m}^3$ и $\leq 566 \text{ m}^3$	0,7
3.	Основни учебни пространства със затворен обем $> 566 \text{ m}^3$ и всички спомагателни учебни пространства	от 0,7 до 1,1 ($\leq 1,5$)

В различните страни тези изисквания за времето на реверберация са по честоти в зависимост от предназначението им, докато у нас има само една стойност за три честоти. И все пак това е началото и е добре, че започва да се обръща повече внимание на това изискване. Но тъй като има липса на актуална информация, свързана със съответните европейски насоки, в нашата практика специалистите, занимаващи се с акустика, използват наши и чужди различни помощни материали. Знае се, че особено голямо е времето на реверберация в помещения с голям обем и околни повърхности с малък

коэффициент на звукопоглъщане. Такива помещения са кънтящи. С намаляване на обема на помещението се увеличава броят отражения за единица време и времето на реверберация намалява, защото при всяко отражение се поглъща част от енергията на звука. Ако коэффициентът на звукопоглъщане на заграждащите повърхности е голям, времето на реверберация става твърде малко и помещението е „глухо“.

Използвани са също и различни изисквания за оптимално време на реверберация за даден тип зала, за да се извършат при нужда корекции в звукопоглъщането на повърхностите в залата. Изискванията са разделени по предназначение на зони за:

- 1 – лекционни зали и чакални,
- 2 – драматични театри, многофункционални зали и кина,
- 3 – оперни театри и концертни зали.

Темата за разбираемост в помещението също е била засягана при акустичното проектиране, но се налага актуализация заради новите показатели и стандарти за измерване. В залите, предназначени за слушане на говор (аудитории, драматични театри), основно значение има разбираемостта на говора, която се е оценявала по процента правилно приети думи или срички от всички произнесени. Разбираемостта е сричкова и фразова, в зависимост от това дали се приемат срички или фрази. Определянето и до сега е ставало по експериментален път, като дикторът бавно чете от специална таблица безсмислени срички или фрази, а слушателите, които се подбират между хора с нормален слух и намиращи се в различни точки на залата, ги записват. Ако в залата сричковата разбираемост е 85 до 95 %, то разбираемостта е отлична. Ако тя е в границите от 75 до 85 %, се приема за добра, при 65 до 75 % е удовлетворителна, а под 65 % – неудовлетворителна. На 65 % сричкова разбираемост съответства 90 % фразова разбираемост [1].

3.3. Изисквания за акустика в учебни помещения в някои европейски страни

В напредналите европейски страни са разработени отдавна нормативни документи, занимаващи се с акустика на помещения. Освен това има много помощни средства за проектантите, както и учебни материали, включени в програмата за обучение на архитекти, инженери и строителни физици.

В Германия действа DIN 18041, който беше актуализиран в началото на 2016 г. с новото заглавие „Качество на звука в помещенията – изисквания, препоръки и инструкции за проектиране“ [8].

Новото издание на стандарта включва редица пояснения, допълнения и заличавания и включва за първи път изрични насоки за акустика на помещението, за да отговори на конкретните нужди на хора с увреден слух.

Изискването за времето на реверберация по честоти е зададено за различни типове помещения:

- тип използване *A1* – „музика“,
- тип използване *A2* – „реч/презентация“,
- тип употреба *A3* – „обучение/комуникация“,
- тип използване *A4* – „обучение/комуникация, включително специални помещения“,

- начин на използване A5 – „спорт“.

Ясно и недвусмислено се дават предписания за добра акустика на помещението в ежедневието. Това включва по-голямата част от учебни стаи в училищата и детските заведения и в други пространства, с подобни изисквания за реч и тихо учене.

Целта е да се осигури подходящо време на реверберация за:

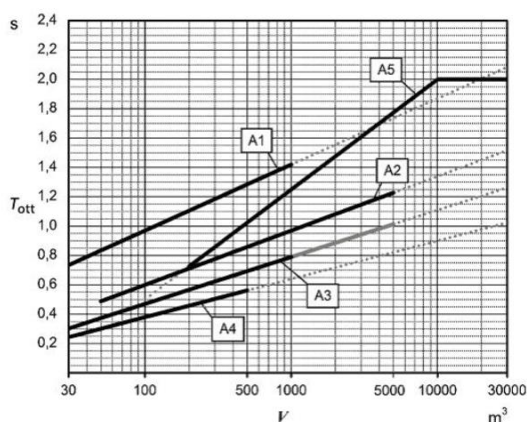
- ясна комуникация на речта между учител и ученик;
- ясна комуникация между учениците;
- преподаване и изпълнение на музика.

Австрийският ÖNORM B 8115-3 [9] дава изисквания към акустиката на помещението, като подобно на немската норма прави разлика между два типа помещения: помещения, в които трябва да се осигури добра чуваемост; и такива, в които шумът трябва да бъде намален.

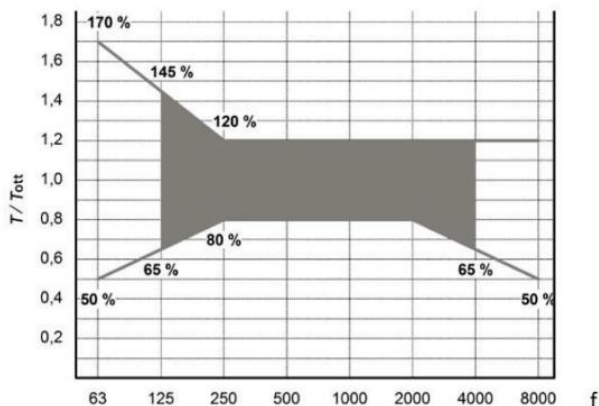
Позовавайки се на DIN 18041 и ÖNORM също дава препоръки. За помещения с добра чуваемост изискванията на DIN 18041 са приети в най-широк смисъл по отношение на необходимото време на реверберация. За помещения, които изискват намаляване на шума, ÖNORM препоръчва среден коефициент на звукопоглъщане, подобен на съотношението A/V .

В италианските изисквания за акустични характеристики на малки пространства UNI 11532 [10, 11] се осигуряват насоки за акустичното качество на помещението, в зависимост от вида на използването му. Дадени са, подобно на немските норми, категории на помещенията по вид на използване, само че тук са 6, като в шестата са включени зони и пространства, които не са предназначени за обучение и библиотеки; разглежда се и намаляване на фоновия шум. Тъй като нашата народопсихология е близка до италианската, тук се представят техните изисквания, като пример за бъдещи разработки на нормативни документи и насоки в тази област.

За категориите помещения в този нормативен документ са зададени графично и таблично изисквания за оптималното време на реверберация T_{opt} (s) в зависимост от обема на помещението, вж. фиг. 1.



Фиг. 1. Зависимост на времето на реверберация T_{opt} от обема и вида на помещението [11]



Фиг. 2. Област за оптимални стойности на T_{ott} , като функция от честотата за категориите от A1 до A4 [11]

Табличното представяне на изчисленията за оптимално време на реверберация по отношение на обема на помещението е дадено в табл. 2.

Таблица 2. Формули за изчисление на времето на реверберация T_{ott} (s) за категории от A1 до A5 [11]

Категория	80% заетост на помещението	Обем
A1	$T_{ott,A1} = (0,45\log V + 0,07)$	$30 \text{ m}^3 \leq V < 1000 \text{ m}^3$
A2	$T_{ott,A2} = (0,37\log V - 0,14)$	$50 \text{ m}^3 \leq V < 5000 \text{ m}^3$
A3	$T_{ott,A3} = (0,32\log V - 0,17)$	$30 \text{ m}^3 \leq V < 5000 \text{ m}^3$
A4	$T_{ott,A4} = (0,26\log V - 0,14)$	$30 \text{ m}^3 \leq V < 500 \text{ m}^3$
Категория	незаето помещение	
A5	$T_{ott,A5} = (0,75\log V - 1,00)$ $T_{ott,A5} = 2,00$	$200 \text{ m}^3 \leq V < 10000 \text{ m}^3$ $V \geq 10000 \text{ m}^3$

Освен с времето на реверберация в този нормативен документ се задават референтни стойности за коефициента на предаване на говор STI за два вида обем $V > 250 \text{ m}^3$ $V < 250 \text{ m}^3$. Дават се и графично примери за измервателни позиции в класни стаи със и без усилвателна система.

4. Измерване на времето на реверберация на учебни помещения и предложение за подобрене на акустиката

4.1. Измерване на времето на реверберация съгл. БДС EN ISO 3382-2 [2] в учебни зали в УАСГ

За да се определи акустиката на съществуващи учебни зали, беше направено измерване на времето на реверберация по стандарт БДС EN ISO 3382-2 [2]. Високото ниво

на звук, приблизително еднакво за всички честоти в изследвания честотен диапазон 100 Hz – 5000 Hz, се генерира от компютърен файл на розов шум, усилен от цифров усилвател и разпространен от високоговорител с форма на додекаедър. Използват се 2 различни разположения на звуковия източник. За всяко от тях се извършва измерване в 4 различни позиции на акустичния анализатор.

За всяка от 8-те позиции с помощта на акустичния анализатор се измерват и записват (осреднени от 3 пускания на източника) криви на затихване на звука в помещението след спиране на източника по терц октавни честоти и във времето. На снимката на фиг. 3 е показана част от техническото оборудване по време на измерване на зала 228. Получените експериментални стойности по честоти са както следва:

За учебна зала 228: 1,41 s при 500 Hz; 1,68 s при 1000 Hz и 1,49 s при 2000 Hz. За тази зала се установи, че стойностите се доближават до нормативните изисквания по наредбата [7].

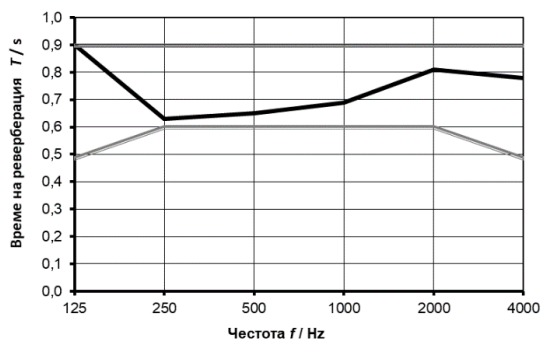


Фиг. 3. Снимки по време на измерванията в учебна зала

За учебна стая 402 резултатите от измерването са: 2,86 s при 500 Hz; 3,23 s при 1000 Hz и 2,53 s при 2000 Hz. Тези стойности далече надвишават нормативните, затова се налага акустична обработка. Тя може да е различна, но поради завършеността и скорошния ремонт се предлага едно компромисно решение.

4.2. Пример за акустична обработка на учебно помещение и предложения за подобрене на акустичните показатели

Направени бяха изчисления по честоти на времето на реверберация с наложени подобрения и направеното предложение е представено по честоти на фиг. 4. Обсегът със стойности на изискванията за дадения честотен диапазон е по немския стандарт [8], който дава по-подробни данни.



Фиг. 4. Време на реверберация T в секунди на учебно помещение с размери 10/7/3,6 m – по честоти след предложения проект за акустична обработка

Предложеният проект за акустична обработка се състои в добавяне на окачен таван: 50 m² перфориран ГК 8/18 mm + 20 m² ГК – D127.05.03.; смяна на дървените столове с тапицирани – 20 броя.

Направеното предложение за акустична обработка е примерно, като могат да се изберат и други плоскости, с които да се подобри акустиката до тези рамки, зададени нормативно като изисквания.

5. Заключение

Анализът на нормативната уредба в областта на акустиката на учебни помещения е важно условие, за да се намери най-правилният и добър вариант за приемане и прилагане у нас. Тази тема е слабо засегната в нашата научна практика, а има важно значение за постигането на подходяща обстановка за здравословен и пълноценен учебен процес и подобряване на акустичния комфорт на помещенията.

Измерванията на място безспорно дават най-точна оценка на действителната ситуация и направа на становища. Резултатите доказват необходимостта от развитие в тази област, за да се изпълняват правилно учебните помещения. Необходимо е по-задълбочено да навлезе в обучението по Строителна физика за студентите архитекти и инженери.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка е подкрепена финансово по програмата за Националната програма „Млади учени и Постдокторанти – 2“ при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hristev, S.* Arhitekturna akustika. 2014, Sofia, <http://www.stivox.com/akustika/Arhitekturna-akustika-Hristev-022015.pdf>.

2. BDS EN ISO 3382-2. 2008, Akustika. Izmerwane na akustichnite parametri v pomeshthenie. Chast 2: Vreme na reverberatsia v obiknoveni pomeshthenia (ISO 3382-2:2008).

3. BDS EN ISO 354. 2003, Akustika. Izmerwane na zvukopoglashtaneto v reverberatsionna kamera (ISO 354:2003).

4. BDS EN 60268-16:2011, Ustroystva za zvukovi sistemi. Chast 16: Obektivna otsenka na razbiraemostta na govora chrez koefitsienta na predavane na govor (IEC 60268-16) EN 60268-16 „Sound system equipment Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index“.

5. <https://www.cencenelec.eu/>, poseten na 20.07.2023.

6. <https://bds-bg.org/bg/>, poseten na 20.07.2023.

7. Naredba № RD-02-20-3 ot 21.12.2015 g. za proektirane, izpalnenie i poddarzhane na sgradi za obshtestveno obsluzhvane v oblastta na obrazovaniето i naukata, zdraveopazvaneto, kulturata i izkustvata.

8. DIN 18041. 2016, „Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen Empfehlungen und Hinweise für die Planung“ („Acoustic quality in rooms – specifications and instructions for the room acoustic design“) (German Institute for Standardisation, Berlin).

9. ÖNORM B 8115-3. 2005, „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau – Teil 3: Raumakustik“.

10. Arianna, A., Linda, P., Dario, D., Massimo, G. The new Italian standard UNI 11532 on acoustics for schools, ICA 2019, Aachen.

11. UNI 11367 (2010) „Acustica in edilizia – Classificazione acustica delle unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera“. („Building acoustics – Acoustic classification of building units – Evaluation procedure and in situ measurements“).

12. Leitfaden für Innenraumhygiene in Schulgebäuden, Umeltbundesamt, 2008.

INVESTIGATION OF THE NORMATIVE FRAMEWORK IN THE AREA OF ACOUSTICS OF EDUCATIONAL PREMISES IN EUROPEAN COUNTRIES AND ITS APPLICATION IN OUR COUNTRY

N. Ivanova¹, S. Djambova²

Keywords: acoustics, classrooms, educational premises, normative framework, building elements

ABSTRACT

The acoustic treatment of educational premises is of significant importance, both for perception and the health of students and teachers. Room acoustics are embedded in the normative framework of European countries and are practically implemented to achieve an optimal acoustic environment in classrooms and workplaces. The European Union imposes standards for measuring indicators, but the requirements are subject to individual countries. This study examines the European experience and practical guidelines derived from long-standing efforts to achieve excellent acoustic conditions. This analysis can contribute to a clearer understanding when working with standards in this field and can be beneficial in establishing other national requirements in this area. Additionally, to illustrate the existing situation, several classrooms and educational premises were measured, some of which displayed unsatisfactory results regarding reverberation time. Consequently, an acoustic treatment is proposed to meet the requirements of national regulations and the existing imposed prescriptions.

¹ Natalia Ivanova, Chief Assist. Dr. Eng., Dept. "Physics", UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: bobeva_fhe@uacg.bg

² Svetlana Djambova, Assoc. Prof. Dr., Dept. "Physics", UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: std_fhe@uacg.bg