



## Перспективи и особености за изработване карти на сеизмичния риск като основа за хармонизиране на българските противоземетръсни норми с европейските стандарти

*Lyudmil Hristoskov<sup>1</sup>, Dimcho Solakov<sup>1</sup>, Stefan Shanov<sup>2</sup>, Marin Kostov<sup>2</sup>  
Людмил Христосков<sup>1</sup>, Димчо Солаков<sup>1</sup>, Стефан Шанов<sup>2</sup>, Марин Костов<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Геофизичен институт БАН

<sup>2</sup> Геологически институт БАН

<sup>3</sup> Централна лаборатория по сеизмична механика БАН

Картите на сеизмичния hazard (КСХ) се явяват основа, или още — необходим „сеизмичен вход“, за хармонизиране на българските земетръсни норми с европейските стандарти, в частност с Еврокод 8 (ЕС8), третиращ проектирането на сгради и съоръжения в земетръсни райони. Основните изисквания на ЕС8 към „сеизмичния вход“ най-общо са регламентирани в последния към момента вариант на Еврокода (Eurocode 8 Part 1, prEN No 5/May 2002).

В България се прилагат норми за проектиране в сеизмични райони почти 50 години, като използваните принципи и подходи са съвместими с тези на най-напредналите страни. Това се отнася и за „сеизмичния вход“ — картата на съгресаемостта за период 1000 години (КС1000), използвана в действащите към момента норми от 1987 г. Тези последни норми в голяма степен са съвместими и с разработвания в последните няколко години европейски код ЕС8. Най-съществените съображения по отношение на сеизмичните карти като „сеизмичен вход“ за нашите норми от 1987 г. и за ЕС8 се свеждат до следното:

1. КС1000 е прогнозна карта на очакваните сеизмични въздействия за период на повторемост 1000 години, въздействията са изразени в степени 7, 8, 9 и по-висока по скалата на Медвед-Шпонхойер-Карник (МШК). На степените експертно са преписани съответни сеизмични коефициенти. В ЕС8 вместо сеизмични степени се използват ускоренията на земната основа (и/или скоростта на трептене и/или преместванията), предизвикани от сеизмичните вълни.

2. ЕС8 препоръчва да се използват две нива на безопасност за два периода на повторемост на сеизмичните въздействия според националните оценки за нивото на сеизмичната опасност, като за евентуални периоди се упоменават 475 и 95 години. Следователно КСХ трябва да се из-

работват за две нива на безопасност, т.е. за два периода на повторемост на въздействията. По принцип за периоди 475 и 95 години все още не е оценен приемливия риск за Р България.

3. Типът на параметрите на сеизмичните въздействия и периодите на повторемост за КСР следва да са ясно дефинирани и регламентирани в Националното приложение за България към ЕС8.

4. Преминаването от национални норми към ЕС8, предполага в граничните сеизмични зони със съседни страни прилагащи ЕС8, КСХ да са съгласувани по стойност на оценките за параметрите, т.е. обективно да се обезпечи непрекъснатост на полето на сеизмичните въздействия.

5. Създаването на КСХ за целите на ЕС8 е сложна и комплексна задача, която изисква участие на специалисти по сеизмология, геология, геоморфология, сеизмично инженерство и др. и налага провеждане на трудоемки и продължителни изследвания във всички споменати научни области.

Преди да се коментират изискванията към новите карти е целесъобразно да се направи едно най-общо сравнение между ЕС8 и българските Норми от 1987 г. (означени като БН), главно по отношение на сеизмичните карти (таблица 1). От сравнението следва, че БН и ЕС8 са изградени на почти еднакви теоретични предпоставки. Най-съществената разлика е в дефинирането на сеизмичния hazard в ЕС8 чрез максимални ускорения за определен период на повторемост, докато в БН сеизмичният hazard е дефиниран чрез сеизмичната интензивност по скалата МШК за определен период на повторемост. Доколкото няма установена надеждна корелация между максимално ускорение и интензивност тази разлика е съществена. Независимо, че основните предпоставки в двата правил-

Таблица 1

Характеристика	БН	ЕС8
Динамичното реагиране е по линейната спектрална теория	да	да
Нелинейното сеизмично реагиране се отчита чрез обобщени фактори (коефициент на поведение/реагиране)	да	да
Сеизмичното въздействие се представя чрез спектър на реагиране и максимално ускорение	да	да
Детайлно нелинейно изследване на конструкциите е позволено	да	да
Представяне на сеизмичното въздействие с акселерограми е позволено	да	да
Сеизмичните въздействия се различават от типа почви	да	да
Сградите са разделени на категории по важност	да	да
Сеизмичното райониране е за очакваното ускорение	не	да
Сеизмичният хазарт е дефиниран вероятно	да	да

ника са близки или еднакви, конкретното приложение е различно, като основните разлики са в следното: 1. Дефиниране на сеизмичния хазарт; 2. Представяне на сеизмичното въздействие (вертикална компонента, акселерограми, спектри за преместване); 3. Дефиниране на типовете почви; 4. Дефиниране на конструкциите по важност; 5. Приложение на нелинейни методи за анализ. Очевидно, че изброените различия изискват специфичен национален подход, вкл. по отношение на сеизмичните характеристики.

В ЕС8 са предвидени две нива на осигуряване. За 1-во ниво конструкциите се осигуряват срещу частично или пълно разрушение. Сеизмичните характеристики, за които се осигурява съоръжението са с вероятност за надвишение 0.1 за 50 години, т.е. проектното ускорение има годишна вероятност за надвишение 0.002105. За 2-ро ниво конструкциите се осигуряват за ограничаване на повредите от сеизмични въздействия с по-голяма вероятност за поява. Сеизмичните характеристики, които се използват за такова осигуряване имат 0.1 вероятност за надвишение за 10 години (годишна вероятност за надвишение 0.0105).

По БН осигуряването се извършва за едно ниво, което се определя от сеизмичните коефициенти (ускорения). Сеизмичната интензивност по МШК-64 е определена за годишна вероятност за надвишение 0.001. За период от 50 години, вероятността от надвишение на проектната интензивност е 0.0487. Проектните ускорения в БН са предписани експертно (занижени 1.5 пъти спрямо МШК) и не отговарят на никаква предварително зададена надеждност (вероятност за надвишение). От казаното следват изводите:

1. Сеизмичното райониране на България в съгласие с изискванията на ЕС8 ще се различава както по разпределение на максималните ускорения по площи, така и по стойност на ускоренията. При това положение разделянето на страната на зони с еднаква прогнозна интензивност е вече неподходящо.

2. Най-високите максималните ускорения за проектиране могат да се окажат по-високи от сегашното най-високо ускорение 0.27g.

3. Сеизмичните въздействия (еластични спектри на реагиране), така както са определени в ЕС8, не могат да обхванат характеристики на източници като Вранча.

Сеизмичните характеристики за проектиране в България трябва да се определят чрез КСХ за две нива на сигурност, които да дефинират максимални ускорения и еластични (линейни) спектри на реагиране за цялата територия на страната. Спектрите на реагиране и максималните ускорения се дефинират с техните 3 компоненти.

Първото ниво трябва да дефинира такива сеизмични въздействия, осигуряването срещу които да гарантира, че конструкциите няма да претърпят пълно или частично разрушение. Нивото трябва да се избере в зависимост от приемливия хазарт за 50 годишен живот на конструкцията. Приемливият хазарт се дефинира чрез период на повторемост на сеизмичните въздействия или годишна вероятност за надвишение. В ЕС8 е използвана вероятност за превишение на сеизмичните въздействия в период от 50 години 10%, което, както бе обяснено по-горе е равносилно на период на повторемост 475 години.

Второто ниво на сеизмични въздействия е необходимо за да се гарантира, че конструкциите няма да получават необосновано големи неконструктивни повреди при сравнително чести (което значи по-слаби) земетресения. Това ниво изисква дефиниране на приемлив риск за непревишение в рамките на 10 години. Ако се използва същата стойност от 10% вероятност за превишение, то сеизмичните въздействия трябва да се определят за период на повторемост 95 години.

Изработването КСХ за проектиране в България ще премине през следните основни етапи:

1. Създаване на сеизмотектонски модел за територията на България и съседните сеизмич-

ни зони, които оказват влияние върху българската територия. Сеизмотектонският модел трябва да се изгражда последователно в цифрова форма — предпочитано в ГИС. Като основа за изграждането на този модел трябва да залегне информацията от сеизмичното райониране от нормите 1987 г. Сеизмотектонският модел трябва да определи вида, геометрията и физическите характеристики на сеизмичните огнища, които влияят на сеизмичния hazard в България. По вид сеизмичните източници в модела са: точкови, линейни, площни и дисперсни. Геометрията на източника включва положение (координати), форма, дълбочина и др. Физическите характеристики се определят от максималния магнитуд, който може да генерира източника и честотата на поява на земетресения с магнитуд над дадено ниво. Минималният магнитуд, който генерира въздействия от инженерен интерес може да бъде приет 4. Всички характеристики на модела трябва да се дефинират с техните разпределения.

2. Установяване на закони за затихване на въздействието (ускорение, скорост, преместване). Поради липса на статистика от български записи, трябва да се използват подходящи зависимости от други сеизмични региони. За огнище Вранча задължително трябва да се използва отделен закон за затихване, поради много специфичния характер на въздействието. Ако се възприеме използване на два типа закони за затихване — един за междиннофокусни земетресения и един за всички останали, то всеки тип трябва да се представи поне с по два закона със съответните оценки.

3. Оценка на сеизмичния hazard (ускорение, скорост, преместване) може да стане по методиката на Cornell, съответно нейната реализация в програма EQRISK (модифицирана Д. Солаков). Оценка се извършва за дискретни точки (възли) от ортогонална мрежа със стъпка например 10 км, която покрива територията на страната. При такава стъпка се получава, че за една оценка на hazarda ще е необходимо изчисляването на разпределението на максималното ускорение в около 5000 точки. Всички изчисления се извършват със закони за затихване за скала (почви категория А). Изчислителните процедури следва да отчетат следните особености.

**Оценка на неточностите.** Както бе отбелязано, сеизмотектонският модел и законите за затихване са натоварени с неточности. Неточностите могат да се отчетат по два начина: използване на логическо дърво или по метода Монте Карло (Latin Hypercube Experimental Design). Който и от двата метода да се използва, горните 5000 изчисления трябва да се повторят между 50 и 100 пъти.

**Статистика на резултатите.** За всеки възел от изчислителната мрежа се прави статис-

тика на резултатите, получават се средни (най-вероятни) оценки и оценки с различни доверителни интервали. Резултатът е разпределение на максималното ускорение за всеки възел от мрежата.

**Сравнение на резултатите с предишни анализи.** Задължително се извършва сравнение на получените дискретни резултати с известни оценки за площадки на отговорни обекти — язовири и електроцентрали, районираня на градове и др.

**Интерполиране и площни оценки.** От данните в мрежата се извършва интерполация между стойностите във възлите за една и съща годишна вероятност за надвишение за определяне на изолинии на ускоренията. Могат да се използват следните интервали на максималното ускорение:  $<0,1g$ ,  $0,1-0,2g$ ,  $0,2-0,3g$ ,  $0,3-0,4g$  и  $>0,4g$ . Интерполацията може да се извърши за периоди на повторемост 100, 300, 500, 1000 години.

4. Оценка на сеизмичния hazard трябва да се осъществява за територията на България и за граничните територии със съседните страни за целите на съгласуването на националните hazardни карти за ЕС8. Основните входни материали и данни следва да покриват и всички земетръсни зони в съседните страни (минимално разстояние 150 км до границите на страната, над 400 км за огнище Вранча), от които могат да се очакват неблагоприятни въздействия у нас. Следователно, входните материали и данни следва да се подготвят за планшет с координати от  $40^{\circ}N$  до  $47^{\circ}N$  и от  $21^{\circ}E$  до  $30^{\circ}E$ , който условно назоваваме като Централни Балкани. Очевидно сеизмотектонския модел трябва да се дефинира за Централни Балкани, а кривите на затихване да са представителни за разстояния до към 800-1000 км. Отчитайки размерите на планшета и детайлността на входните данни е най-целесъобразно да се използват картни основи в мащаб 1:1 000 000.

Сеизмичният hazard представлява вероятността силата на земните движения в дадена точка от земната повърхност да превиши зададена стойност през определен период от време. Земните движения  $x$  могат да се изразят чрез максимално ускорение  $\ddot{u}_{max}$ , максимална скорост  $\dot{u}_{max}$  или максимално преместване  $u_{max}$ . Сеизмичният hazard се свързва със сеизмичните hazardни криви, даващи годишната вероятност за надвишаване, като функция на амплитудата на земните движения  $x$ . Разпределението на hazarda се описва обикновено или чрез вероятностната си функция на разпределение  $P_H(x)$  или чрез вероятностната функция за надвишаване  $\mathcal{D}_H(x)$ .

Най-общо, в математичния модел предложен от Cornell (1968), вероятността параметърът  $x$ , характеризиращ движението на почвата, да превиши дадено ниво  $X$ , през определен интервал от време  $t$ , се дава с израза:

$P(x > X | t) = 1 - e^{-v(X)t}$ ,  
където  $v(X)$  е средната честота на превишаване за период от време  $t$ , т.е. това е средната честота, с която стойностите на параметъра  $x$  за дадена площадка и период от време  $t$ , ще превишават зададеното ниво  $X$ , в резултат на земетресения от сеизмогенни източници в разглеждания район. Неравенството в дясната страна на израза е винаги в сила и не зависи от използвания вероятностен модел за реализацията на сеизмичните събития, като произведението  $v(X) t$  дава точна, или леко консервативна оценка, за вероятности по-малки от 0.1.

Честотата на превишаване  $v(X)$  е функция на неточностите във времето, силата и локализацията на възможните бъдещи земетресения, а също и на нивото на земните движения, което може да се превиши за разглежданата площадка. Изчислява се чрез израза

$$v(X) = \sum_k N_k(M_0) \int_{M_0}^{M_{\max}} f(M) f(r|M) P(x > X | M, r) dr dM,$$

където  $N_k(M_0)$  е честотата на земетресенията, генерирани в сеизмичен източник  $k$  ( $k \geq 1$ ) с магнитуд над  $M_0$ ;  $f(M)$  е плътност на разпределението на събитията с магнитуд между  $M_0$  и  $M_{\max}$  ( $M_{\max}$  е максималният очакван магнитуд за съот-

ветния сеизмичен източник);  $f(r|M)$  е плътност на разпределението на разстоянията до разломната равнина, породена от земетресение с магнитуд  $M$ ;  $P(x > X | M, r)$  е вероятността земетресение с магнитуд  $M$  на разстояние  $r$  от площадката да предизвика движение на почвата в площадката, превишаващо зададеното ниво  $X$ . Средната честота на превишаване зависи от три вероятностни функции: магнитудно-честотно разпределение, условното разпределение по разстояние и условното разпределение на вероятността за превишаване.

Изчисляването на сеизмичния hazard и получаването на КСХ е сложна и изключително трудоемка задача, особено що се отнася до качествено програмно обезпечаване (Solakov et al., 2001, McGuire, 1993). Концептуална програма за изработване на национални КСХ за хармонизиране на нашите сеизмични норми с ЕС8 бе разработена по искане на М-во на регионалното развитие и благоустройството (Христосков и др., 2002), но до момента не е пристъпено към реализацията ѝ, главно поради липса на целево финансиране. Същото се отнася и за изработването на Националното приложение към ЕС8, в което следва да се определят основните параметри и изисквания за КСХ.

## Литература

- Норми за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони. 1987. София, КТСУ-БАН, 67.
- Христосков, Л. 1979. Основни принципи при съставяне на картата на сеизмичното райониране на НРБ. Докл. национална конференция по антисейсмично строителство, Пловдив, 21–34.
- Христосков, Л. и др. 2002. Концепция за създаване на карта на сеизмичното райониране за Еврокод 8 (ЕС8). Договор №195/18.07.2002 с МРРБ.
- Христосков, Л. 2005, 2006. Сеизмология ч. 1 и ч. 2. Унив. Изд. „Св. Климент Охридски“, 362 с., 456 с.
- Voncev, E., V. I. Bune, L. Christoskov et al. 1982. A method for compilation of seismic zoning prognostic maps for the territory of Bulgaria. — *Geologica Balc.*, 12, 2, 3–48.
- Cornell, C. A. 1968. Engineering seismic risk analysis. — *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 58, No 5, 1583–1606.
- Eurocode 8 Part 1, prEN No5/May 2002.
- Giardini, D., P. Basham (Eds.). 1993. Seismic hazard assessment program. — *Annali di Geofisica*, Special issue, vol. XXXVI, No 3–4, 257 p.
- Kanamori, H., E. Boschi (Eds.). 1986. *Earthquakes: observation, theory and interpretation*. North-Holland Publ. Co., Amsterdam-New York-Oxford, Italy, 608 p.
- McGuire, R. 1993. Computations of seismic hazard. — *Annali Di Geofisica*, vol. XXXVI, No 3–4, 181–200.
- Solakov, D., S. Simeonova, L. Christoskov. 2001. Seismic hazard assessment for the Sofia area. — *Annali di Geofisica*, vol. 44, No 3, 541–556.