

ПРЕДЕФИНИРАНЕ НА СЕИЗМИЧНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ЗА ОБЛАСТИ С НЯКОЛКО НОРМИРАНИ СЕИЗМИЧНИ СПЕКТЪРА НА РЕАГИРАНЕ

Кр. Бошнаков¹, В. Кърджиев²

SEISMIC ACTION REDEFINITION FOR REGIONS WITH MULTIPLE CODE PRESCRIBED SEISMIC RESPONSE SPECTRA

Kr. Boshnakov¹, V. Kardjiev²

Abstract:

The type of seismic response spectrum definitions depend on the type of structural analysis. For regions with substantial influence of different earthquake sources causing events at different focal depths, design standards prescribe usage of two or more separate seismic response spectra for structural design purposes. This clear from scientific and technical points of view approach causes at least doubling of the structural earthquake design calculations that reflects in increased risk of errors and inaccuracies resulting from structural modeling, and loads application process. Other problems arise from the increased amount of numerical data. An effective approach for seismic response spectrum redefinition for the affected territories is proposed. The compliance to design codes is reviewed on the example of Bulgarian NAD to EN 1998-1. The proposed practical approach can be adopted to other territories.

Keywords:

Earthquake response spectrum, Vrancea earthquakes, Bulgaria earthquake design

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Действащото Българско национално приложение [2] към Еврокод 8 [1] предписва използването на два вида земетръсни спектри на реагиране /CP/ при проектиране на строителни конструкции. Определени са Вид 1 CP, съответстващ на този в EN 1998-1 и допълнително дефиниран CP Вид 3, който отчита влиянието на Вранчанските земетресения. Действащото приложение [2] не взема предвид т. 3.2.2.1, (5) в EN 1998-1 [1] и в противоречие с него определя използването на една единствена стойност за референтно ускорение на земната основа ($a_{g,R}$) за двата спектъра при определените периоди на повторемост.

Приетите модели на земетръсното въздействие в Еврокод 8 [1] са: еквивалентни сили, спектри на реагиране – еластични и проектни, както и записи на земетресения:

¹ Красимир Бошнаков, гл. ас. д-р инж., Катедра “Автоматизация на инженерния труд”, УАСГ, София 1046, бул. „Хр. Смирненски“ №1, e-mail: krabosh_fce@uacg.bg.

² Васил Кърджиев, проф. д-р инж., Катедра „Масивни конструкции“, УАСГ, София 1046, бул. „Хр. Смирненски“ №1, e-mail: kardjiev@mail.bg

сеизмограми – премествания, велосиграми – скорости, акселерограми – ускорения, по източник – естествени, изкуствени, и симулирани. По нататък в статията понятието „записи“ се използва в контекста на приетото в т. 3.2.3.1 на българското издание на БДС EN 1998-1 [1] понятие „истории във времето“, като в съчетанието „записи на земетресения“ се визират регистрирани записи на земетръсни събития, а под „записи на земетръсни въздействия“ се разбират реални или генерирани – изкуствени или симулирани записи. Прилагането на подхода на представяне с еквивалентни сили се допуска само към конструкции, които се проектират за ниско ниво на дуктилност (LDL), строителството на които не разрешава на територията на Р. България, поради което този подход не се разглежда в тази статия. Разглеждат се само подходите със спектър на реагиране и със записи на земетръсни въздействия.

Извеждането на предлаганите еквивалентни заместващи спектри на реагиране се основава на съпоставяне и дедуктивен анализ, което е основание за постигане на вярност на резултата.

2. ПЛОЩАДКОВИ ЕЛАСТИЧНИ СПЕКТРИ НА РЕАГИРАНЕ

Нормираните земетръсни въздействия се основават на еластични спектри на реагиране /ЕСР/, чрез които се дефинират проектни спектри на реагиране /ПСР/, използвани при линеен динамичен анализ на строителни конструкции, или като целеви при избора на записи на земетресения и при създаването на изкуствени или симулирани записи, при тяхната обработка и мащабиране за нелинеен динамичен анализ. Обикновено нормите определят формата на ЕСР, дават параметри за тяхното адаптиране към съответните геоложки условия на площадката, задават се и стойностите на референтното максимално ускорение на земната основа ($a_{g,R}$), при определен период на повторемост на земетръсното събитие (T_R) чрез съответен мащабиращ коефициент. Получената ЕСР или се редуцира с цел номинално отчитане на очакваната дуктилност на разглежданата конструкция, като по този начин се трансформира в проектен спектър на реагиране /ПСР/, който директно да послужи при изчисляване чрез „спектралния метод с разделяне на реагирането по собствени форми на трептене“ (т. 4.3.3.1 (3)-(b) от [1]), както е наречен линейният спектрален анализ, подробно разгледан в [4], или без преработка се използва като целеви при селектиране, мащабиране или генериране на набор записи на земетръсни въздействия за провеждане на нелинеен динамичен анализ на конструкции. В някои случаи ПСР се използва и като целеви спектър за обработка на записи на земни движения при линеен динамичен анализ със записи на земетръсни въздействия.

В българското национално приложение NA [2] към EN1998-1 [1] е предвидено използването на два различни спектъра на реагиране /СР/ (Вид 1 и Вид 3) за части от територията на страната, считани за податливи на влиянието на земетресения от земетръсна зона Вранча. Уравненията определящи хоризонталния и вертикалния еластичен спектър на реагиране може да се обобщят по следния начин:

$$\begin{aligned}
 0,0 \leq T \leq T_B \quad & \therefore \quad S_e(T) = a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta K - 1) \right] \\
 T_B \leq T \leq T_C \quad & \therefore \quad S_e(T) = a_g S \eta K \\
 T_C \leq T \leq T_D \quad & \therefore \quad S_e(T) = a_g S \eta K \left[\frac{T_C}{T} \right] \\
 T_D \leq T \leq 4,0 \text{ s} \quad & \therefore \quad S_e(T) = a_g S \eta K \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]
 \end{aligned} \tag{1}$$

където $S_e(T)$ е ЕСР, $K = 2,5$ за хоризонталната и $K = 3,0$ за вертикалната компонента, $a_g = \gamma_I a_{g,R}$, е изчислителното ускорение на земната основа, S е почвен коефициент, T е променлива, съответстваща на периода на собствени трептения на конструкцията, и T_B , T_C , и T_D са гранични периоди на участъци, $\eta = 1,0$ при 5% от критично вискозно затихване.

Стойностите, определени в НА [2] за площадки с различни геоложки условия на земната основа са дадени по-долу в Таблица 1, където са копирани стойности, определящи хоризонталната компонента на земетръсното въздействие при спектър Вид 1.

Таблица 1. Параметри на хоризонталната компонента на СР Вид 1 [2].

Тип на земната основа	S_1	$T_{B,1}$	$T_{C,1}$	$T_{D,1}$
А	1,0	0,1	0,3	2
В	1,3	0,1	0,4	2
С и Е	1,2	0,1	0,5	2
Д	1,0	0,1	0,6	2

В Таблица 2 са дадени стойности за хоризонталната компонента на СР на земетръсното въздействие при спектър Вид 3.

Таблица 2. Параметри за хоризонталната компонента на СР Вид 3 [2].

Тип на земната основа	S_3	$T_{B,3}$	$T_{C,3}$	$T_{D,3}$
Всички (А, В, С, Д, Е)	1,0	0,2	1,0	2

В Таблица 3 са дадени стойности T на параметрите, определящи формата на вертикалните компоненти на СР на земетръсни въздействия Вид 1 и Вид 3.

Таблица 3. Параметри за вертикалните компоненти на СР Вид 1 и Вид 3 [2].

Вид спектър	a_{vg} / a_g	T_B	T_C	T_D
Вид 1	0,85	0,1	0,4	2
Вид 2	0,85	0,2	0,6	2

В Таблица 3 се установява начина на формиране на резултантния СР за вертикалната компонента при земна основа тип А чрез приемане на минималната стойност за граничните периоди $T_B (=0.1)$ и съответно максималната стойност за $T_C (=0.6)$.

2.1. Пряко преформулиране чрез обединяване

Този подход води до стриктно преформулиране, представляващо резултат от логическо обединяване на областите на земетръсния еластичен спектър на реагиране /ЕСР/ определен в [1] с параметри отчитащи конкретна площадка, специфицирани в [2]. Получената по този начин нова област на ЕСР съдържа в себе си напълно под-областите на ЕСР Вид 1 и Вид 3.

Таблица 4 показва графиките на хоризонталната и вертикална компоненти на двата типа (Тип 1 и Тип 3) ЕСР за различни типове земни основи, както и обхващащата ги новосформирана област. Представените графики потвърждават, че зададеният Тип 1 СР определя т.нар. част от спектъра, контролирана от ускоренията [5].

Логическото обединяване на областите на СР Вид 1 и Вид 3 може да се изрази математически чрез фиксиране на ъгловият период $T_B = T_{B,1}$, където $T_{B,1}$ е стойността на T_B за Вид 1 ЕСР и включване на допълнителен ъглов период T_X в точката на пресичане на два ЕСР. Периодът T_X при който криволинейният клон на ЕСР Вид 1 пресича платото на ЕСР Вид 3 може лесно да се установи чрез решаване на система линейни алгебрични уравнения на основата на Формула (1). В разглеждания случай $T_X = T_{C,1} S_1/S_3$ и следователно $T_{Xh,B} = 0,52$ s and $T_{Xh,C\&E} = 0,6$ s за хоризонталната компонента на земетръсното въздействие, и $T_{Xv,B} = 0,52$ s и $T_{Xv,C\&E} = 0,48$ s съответно за вертикалната компонента. Въпреки, че вмъкването на нова гранична точка в ЕСР изглежда озадачаващо, обединяващият ЕСР е напълно дефиниран чрез допълнителният междинен граничен период T_X , разположен между $T_{C,1}$ и $T_{D,3}$ във формулировката на ЕСР. Предефинираните формулировки на хоризонталната и на вертикалната компоненти на ЕСР са:

$$\begin{array}{l}
 0,0 \leq T \leq T_{B,1} \therefore S_e(T) = a_g S_1 \left[1 + \frac{T}{T_{B,1}} (\eta K - 1) \right] \\
 T_{B,1} \leq T \leq T_{C,1} \therefore S_e(T) = a_g S_1 \eta K \\
 T_{B,1} \leq T \leq T_X \therefore S_e(T) = a_g S_1 \eta K \left[\frac{T_{C,1}}{T} \right] \\
 T_X \leq T \leq T_{C,3} \therefore S_e(T) = a_g S_3 \eta K \\
 T_{C,3} \leq T \leq T_{D,3} \therefore S_e(T) = a_g S_1 \eta K \left[\frac{T_{C,3}}{T} \right] \\
 T_{D,3} \leq T \leq 4,0 \text{ s} \therefore S_e(T) = a_g S_3 \eta K \left[\frac{T_{C,3} T_{D,3}}{T^2} \right]
 \end{array} \quad (2)$$

където означенията са същите, като във Формула (1).

Така получените преформулирани спектри на реагиране за сеизмични ускорения се преобразуват чрез Формула 3.7 на Еврокод 8 [1] в съответните спектри на реагиране за премествания. Резултатите в Таблица 4 са представени във формат спектрални ускорения – спектрални премествания.

2.2. Пряко обединяване чрез модифициране на границите

Този подход се състои в стриктното обединяване на областите на двата вида ЕСР чрез предефиниране само на един граничен период, но е с ограничена валидност само за типове земна основа А и D.

Анализът на графиките на ЕСР за земни основи тип А и тип D в Таблица 4 показват, че определената стойност на периода $T_{B,3} = 0,2$ s за ЕСР Вид 3 в Таблица 2 е излишна в резултат пренебрегването на предписанията на Чл. 3.2.2.1 т. (5) в EN1998-1 [1] чрез приетата в [2] едни и същи стойност на референтното максимално ускорение на $a_{g,R}$ за двата вида ЕСР. При приемането на $T_{B,3} = T_{B,1} = 0,1$ s (вместо $T_{B,3} = 0,2$ s) се получава пълно съответствие в този участък на спектралната крива.

Таблица 4. Получаване на резултанти за Вид 1 и Вид 3 СР.

Тип земна основа	Хоризонтален СР	Вертикален СР
A		
B		
C E		
D		

Тази незначителна модификация за земни основи тип А и D дава възможност провеждането на анализ само за Вид 3 (Вранча) СР, за хоризонталната и за вертикалната компоненти за разглеждана площадка, да се счита за удовлетворяващ изискванията на българското национално приложение [2] към EN1998-1 [1] относно спектрите на реагиране Вид 1 и Вид 3.

3. ПРИЛОЖИМОСТ НА ПРЕДЛОЖЕНИЯТ ПОДХОД

Нелинейният анализ със записи на земетръсни въздействия като метод за проектиране на строителни конструкции разширява своето присъствие в съвременните стандарти за проектиране. Включването и разширяването на обхвата на приложимост на метода чрез стандартизиране се дължи на редица фактори, сред които: развитието на бързодействието на компютърния хардуер, нарастване на обема на съхраняване на данни, подобряване на възможностите на специализираното програмно осигуряване, приемането на концепцията за проектиране на основата на поведение на конструкциите (performance based design), и цели удовлетворяване на стремежа на инженерите да вникнат в реалното поведение на конструкциите чрез повишаване на точността (верността и прецизността) на резултатите. Изискванията към броя на записите на земетръсни въздействия за удовлетворяване на предписаните в EN1998-1 [EN8] са за най-малко 3 бр. записи или генерирани комплекта, като всеки от тях не се отклонява локално с повече от 10 % от стандартизирания ЕСР. В някои по-скоро актуализирани стандарти, като американския ASCE 7-16 [3] има по-подробни инструкции към използването на записи. Заслужава си да се отбележи и наличието на различия, в някои случаи, в разглеждането на близки до площадката и отдалечени земетръсни огнища, при избор на записи от земетресения, както и отделното разглеждане на подходите за мащабиране по амплитуда и на спектрално напасване на записите с параметри на движението на земната основа при мащабирането към целеви СР. Възможностите на съвременният софтуер за избор, генериране, обработка и мащабиране на записи от земетресения дава възможност за успешно решаване на задачата за мащабиране на истории във времето към целеви СР, по начин и при параметри, които удовлетворяват изискванията на съвременните стандарти за проектиране на строителни конструкции.

Предложеният подход за предефиниране на сеизмичното въздействие за области с няколко нормирани спектри на реагиране води до значителна редукция на количеството изчислително натоварване и обема на данни, получени в резултат на изчислителния процес, без да поражда загуба на информация и при запазване на точността на резултата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 1998-1, „Еврокод 8: Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия. Част 1: Общи правила, сеизмични въздействия и правила за сгради“, Български институт за стандартизация /БИС/, 2006 г.
- [2] БДС EN 1998-1 / NA, „Еврокод 8: Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия. Част 1: Общи правила, сеизмични въздействия и правила за сгради. Национално приложение“, Български институт за стандартизация /БИС/, 2012 г.
- [3] ASCE/SEI 7-16, “Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures.”, American society of civil engineers /ASCE/, 2017.
- [4] Бонев З., Таушанов А., Изчисляване на конструкции на сеизмични въздействия. Линеен спектрален анализ.“, София, 2006 г.
- [5] Gupta A.K., “Response spectrum method in seismic analysis and design of structures.”, Blackwell scientific publishing, 1990.