

Получена: 15.09.2017 г.

Приета: 09.02.2018 г.

ПОДХОДИ ПРИ ИЗБОРА НА НАБОР ОТ АКСЕЛЕРОГРАМИ ЗА ЦЕЛИТЕ НА СЕИЗМИЧНОТО ИНЖЕНЕРСТВО ЧРЕЗ ПРОГРАМЕН ПРОДУКТ REXEL

М. Жиков¹, Г. Моллова²

Ключови думи: избор на сеизмични записи, реални акселерограми, REXEL

РЕЗЮМЕ

Реалните акселерограми се използват при провеждането на нелинеен динамичен анализ на строителните конструкции. Необходимите сеизмични записи се селектират чрез различни критерии, отговарящи на изискванията на нормативната уредба. В Еврокод 8 са дадени изисквания относно изчисления усреднен спектър на реагиране (получен от избраните записи), чиито стойности не трябва да се различават с повече от 10% от целевия спектър на реагиране за 5% затихване. В настоящата работа е използван програмнен продукт REXEL, чрез който се извършва търсене и избор на извадки от реални записи. Направен е обзор на включените методи, като е обърнато внимание на два основни подхода за намиране на оптимален набор от реални акселерограми – чрез използване на максималното ускорение на земната основа (PGA) и чрез параметъра интензитет на Ариас (*I_a*, Arias Intensity). Изследването има за цел да анализира приложимостта на разгледаните алтернативни методи за избор на записи и да се направи сравнение с подхода, базиран на критериите моментен магнитуд и епицентрално разстояние. Представени са числени и графични резултати с избрани набори акселерограми, като е анализирана приложимостта им за територията на страната.

¹ Мариян Жиков, инж., редовен докторант, кат. „Автоматизация на инженерния труд”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: zhikov_fce@uacg.bg

² Гергана Моллова, проф. д-р инж., кат. „Автоматизация на инженерния труд”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: mollova_fce@uacg.bg

1. Въведение

При проектирането на строителни конструкции на сеизмично въздействие земното движение се представя чрез спектъра на реагиране на абсолютните (тоталните) ускорения. При проектиране на конструкции с много степени на свобода, конструкции със специално предназначение (високи сгради, язовирни стени, атомни електроцентрали и др.), конструкции, които са нерегулярни в план и височина и др. се използва нелинеен динамичен анализ. При него сеизмичното въздействие се представя чрез акселерограми, изразяващи изменението във времето на ускорението на земната основа (time-history). Реалните акселерограми са записи, осъществени по време на протичане на земетресения, поради което те запазват всички характеристики на земното движение (напр. амплитуда, честота, енергийно съдържание и др.). Акселерограмите са цифров запис на ускоренията на земната основа след извършване на дискретизация по времето, а моделите на конструкциите се разглеждат като системи, зависещи от дискретно време. Една от най-използваните бази данни (БД) за силни земни движения е European Strong-motion Database (ESD, Ambraseys, et al., 2004). Тя съдържа данни за земетресения от европейския и средиземноморския регион, както и от близкия изток. Други известни БД, които се разпространяват свободно в интернет, са PEER (PEER), K-Net (K-NET), ITACA (ITACA), COSMOS (COSMOS) и др.

Основните изисквания на Еврокод 8 (БДС EN1998-1:2004) при избора на реални акселерограми са свързани с отчитането на условията на земната основа на източника, както и тези на разглежданата строителна площадка. Също така е въведено изискване за използването на минимум 3 акселерограми, чиито стойности на усреднения спектър на реагиране не трябва да се различават с повече от 10% от целевия спектър на реагиране за 5% затихване.

Съществуват различни програмни продукти, които помагат на потребителите при селектирането на реални записи. **ASCONA** (Corigliano M., 2012) е продукт за автоматизиран избор на съвместими реални акселерограми, който използва по-известните достъпни интернет източници. Друг програмен продукт е MATLAB-базираният **OPENSIGNAL** (Cimellaro G., 2015). Алгоритъмът за селектиране на реални записи на двата програмни продукта се базира на сравняване с целеви спектър на реагиране и използването на магнитуда и епицентралното разстояние като основни критерии за селектиране. Подбор на подходящи набори от записи се осъществява и чрез MATLAB-базираният програмен продукт **REXEL** (Iervolino I., 2010). Предвидените в програмата процедури за избор на записи отговарят на изискванията на Еврокод 8 (БДС EN1998-1:2004). Търсенето се извършва чрез дефиниране на целеви спектър на реагиране на ускоренията и определяне на типа земна основа на площадката, за която се извършва изследването. Следващата стъпка е дефиниране на параметри, по които се извършва селекцията на записи и избор на БД.

2. Цел на проучването

Целта на настоящата работа е да се извърши търсене и избор на извадки от реални записи чрез програмен продукт REXEL, като се направи обзор на включените в продукта методи. Обърнато е внимание на два основни подхода за намиране на оптимален набор от реални акселерограми – чрез използване на максималното ускорение на земната основа (PGA) и чрез параметъра интензитет на Ариас (*I_a*, Arias Intensity). Анализирани е приложимостта на разгледаните алтернативни методи за избор на записи и се прави сравне-

ние с подхода, базиран на критериите моментен магнитуд и епицентрално разстояние. Разгледана е и приложимостта им за територията на страната.

3. Методи и критерии за избор на акселерограми в REXEL

Основните методи за избор на реални записи на силни земни движения са чрез еластичен спектър на реагиране или чрез земетръсен сценарий, като се използват параметрите магнитуд, епицентрално разстояние и класификация на земната основа. В Еврокод 8 (БДС EN1998-1:2004) е предпочетен методът на съвместяване на спектъра на реагиране на записа с целеви еластичен спектър на реагиране. Реални записи могат да се избират и на базата на параметри от инженерната сеизмология, като например максималната по абсолютна стойност на ускорението, максималната по абсолютна стойност на скоростта и др. Комбинирането на избора на записи чрез спектри на реагиране и изброените по-горе критерии водят до избора на по-подходящи записи.

В програмния продукт REXEL потребителят има възможност да избира между предварително зададени целеви спектри, отговарящи на изискванията на Еврокод 8 (Вид 1 и Вид 2), както и да задава свой, потребителски дефиниран целеви спектър.

В Еврокод 8 (БДС EN1998-1:2004) влиянието на земната основа върху сеизмичното въздействие е отчетено чрез пет типа земна основа – А, В, С, D и E, които са разграничени от средната скорост на напречната вълна $V_{S,30}$.

3.1. Селектиране на реални акселерограми на базата на моментен магнитуд и епицентрално разстояние

Магнитудът и епицентралното разстояние се считат за критерии с първостепенна важност при избора на реални акселерограми. Те имат съществен принос върху формата на спектъра на реагиране, честотното съдържание на акселерограмите, енергийното съдържание и продължителността на силното земно движение.

Съществуват различни магнитудни скали, като се смята, че скалата M_w (моментен магнитуд) е еднакво приложима за всички земетресения. Според проучването на Mohraz (Mohraz, 1992), епицентралното разстояние оказва влияние върху спектралните ординати, изразени чрез земното ускорение, скорост и преместване – стойността им намалява с отдалечаването им от епицентра.

3.2. Селектиране на реални акселерограми на базата на максималното ускорение на земната основа, PGA

В Еврокод 8 не са дадени ясни критерии, по които може да се селектират реални записи на база PGA. Поради това в настоящото изследване се използват данните за референтното максимално ускорение по райони от картата на сеизмична опасност на страната за период на повторяемост 475 г. Съгласно тази карта страната е разделена на четири интервала, наричани от тук нататък зони: Зона 1 [0.09g до 0.13g], Зона 2 [0.13g до 0.18g], Зона 3 [0.18g до 0.26g] и Зона 4 [$>0.26g$], които отговарят на областите с референтно ускорение съответно: 0.11g, 0.15g, 0.23g и 0.32g [12]. Използването на PGA като критерий за търсене се прилага само за хоризонтална компонента на запис – по X или Y.

3.3. Селектиране на реални акселерограми на базата на интензитет на Ариас, I_a

Интензитетът на Ариас (Arias Intensity) се представя чрез формулата:

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_{tot}} [a(t)]^2 dt, [2], \quad (1)$$

където g е земното ускорение, t_{tot} е продължителността на записа, а $a(t)$ е ускорението, представено във времето. I_a представлява параметър на земното движение, който може да се използва за оценка на възможните повреди от дадено земетресение.

С цел определяне на граничните стойности на интензитета на Ариас, Trivasarou и колектив [14] разработват емпиричен метод, който представя I_a като функция на магнитудата, епицентралното разстояние, механизма на земетресението (разлома) и типа на земната основа на площадката. Този метод е приложим за земетресения с моментен магнитуд в интервала [4.7; 7.6]. Неприложим е за несвързани почви, както и специфични почвени типове.

Уравнението, чрез което се изразява интензивността на Ариас има вида:

$$\ln(I_a) = c_1 + c_2 \cdot (M_w - 6) + c_3 \cdot \ln(M_w / 6) + c_4 \cdot \ln\left(\sqrt{R^2 + h^2}\right) + (s_{11} + s_{12} \cdot (M_w - 6)) \cdot S_C + (s_{21} + s_{22} \cdot (M_w - 6)) \cdot S_D + f_1 \cdot F_N + f_2 \cdot F_R, \quad (2)$$

с участващи параметри:

I_a [m/s] – интензитет на Ариас [2];

M_w – моментен магнитуд;

R [km] – епицентрално разстояние;

S_C, S_D – коефициенти, зависещи от типа земна основа;

F_N, F_R – коефициенти, зависещи от типа на разлома;

$c_1, c_2, c_3, c_4, s_{11}, s_{12}, s_{21}, s_{22}, f_1, f_2$ – опитно получени коефициенти.

Trivasarou и колектив класифицират типа земна основа по предложената от Bray и Rodriguez-Marek [4] схема.

3.4. Други възможни критерии за селектиране на реални акселерограми, които не са предмет на настоящето изследване

Възможностите за селектиране на реални акселерограми не се изчерпват само с разгледаните до тук критерии. Например може да се използва индексът на Cosenza и Manfredi (I_D), който е свързан с енергийното съдържание на земетресенията [7]:

$$I_D = \frac{\int_0^{t_{tot}} [a(t)]^2 dt}{PGA \cdot PGV} = \frac{2g}{\pi} \cdot \frac{I_a}{PGA \cdot PGV}, \quad (3)$$

в който участва и максималната скорост PGV. Използването му представлява интерес при оценка на потенциалния сеизмичен hazard и съответно при отчитане на ефекта на повредите от земетръс върху поведението на конструкциите.

Използването на I_D като критерий за избора на реални регистрации е възможно само за хоризонталните компоненти, чрез въвеждане на желания интервал от стойности.

Друг важен параметър за селектиране на реални акселерограми, основаващ се на реагирането на конструкциите, изразено чрез спектралната форма е:

$$N_P = \frac{Sa_{avg}(T_1 \dots T_N)}{Sa(T_1)}, [3], \quad (4)$$

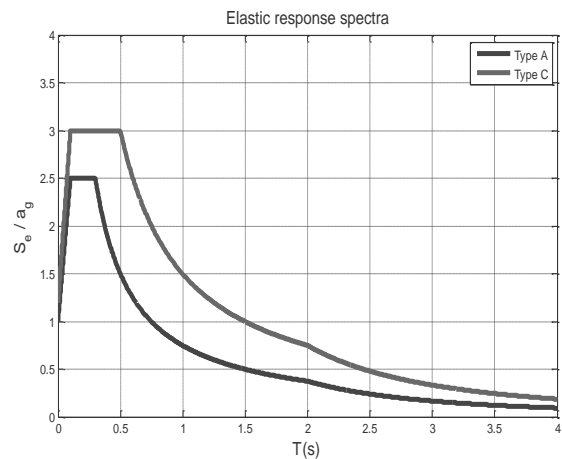
където $Sa_{avg}(T_1 \dots T_N)$ е усреднената спектрална форма за участъка от спектъра, заключен между периодите T_1 и T_N . Нормализира се чрез $Sa(T_1)$ – спектъра на реагиране за първата основна форма на трептене. Резултатът от използването на параметъра N_P е намирането на реални записи със сходни спектрални форми и стойности.

4. Резултати

В настоящото изследване са използвани извадки от ESD, които съдържат 7 реални акселерограми. Използва се потребителски дефиниран целеви спектър на реагиране, отговарящ на Вид 1, при зададено 10%-но отклонение спрямо референтния еластичен спектър на реагиране в периода от $0.1 \leq T \leq 2.0$ s съгласно изискванията на Еврокод 8 (БДС EN1998-1:2004) и Националното приложение към Еврокод 8 (БДС-EN1998-1/NA). Избрани са два типа земна основа – А и С (табл. 1, фиг. 1).

Таблица 1. Еластичен спектър на реагиране, Вид 1

Тип земна основа	S	T_B, s	T_C, s	T_D, s
A	1.00	0.10	0.30	2.00
C	1.20	0.10	0.50	2.00



Фиг. 1. Еластичен спектър на реагиране Вид 1 за земна основа тип А и тип С (5% затихване)

Стойностите на усреднения спектър на реагиране на първия комплект записи, получен в резултат на търсенето са най-близки до тези на целевия спектър. При наличие на недостатъчно записи, отговарящи на избраните критерии за определен тип земна основа, се използват записи от всеки тип земна основа. Това е възможно, тъй като референтната

спектрална форма е дефинирана и в този случай типа земна основа на реалните записи не е от първостепенно значение [9].

При селектирането на реални акселерограми на базата на моментен магнитуд и епицентрално разстояние се използват интервалите, дадени в табл. 2.

Таблица 2. Стойности на M_w и R при избор на реални акселерограми

Критерии	Долна граница	Горна граница
Моментен магнитуд M_w	5.5	6.5
Епицентрално разстояние R [km]	0	50

В Еврокод 8 не е дефинирана горна граница на моментния магнитуд. Поради това, на базата на проучвания, направени за територията на България [18] е избран максимален магнитуд $M_w = 6.5$. По-голямата част от записите от ESD, съдържащи се в REXEL, са с епицентрално разстояние до 50 km [9], поради което е избран представения интервал.

Резултатите от търсенето са дадени в табл. 3 и са представени графично на фиг. 5 и фиг. 6.

Таблица 3. Резултати при избора на реални акселерограми, чрез M_w и R

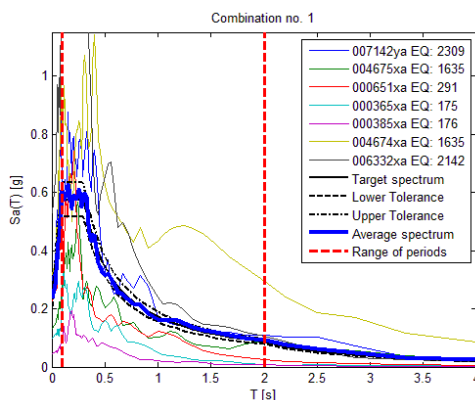
a_g [g]	M_w - R			
	земна основа тип:			
	А		С	
	брой извадки	тип земна основа на записите	брой извадки	тип земна основа на записите
0.11	32	А	0	-
0.15	164	всеки	92	всеки
0.23	1422	А	394	всеки
0.32	1498	всеки	80	всеки

В табл. 4 и на фиг. 2 са представени данните за конкретна извадка (референтен спектър на реагиране за земна основа тип А и референтно ускорение $a_g = 0.23g$).

Таблица 4. Параметри на записите от извадка номер 1

Забележка: участва по 1 хоризонтална компонента от всеки запис – по X или Y

Номер запис	Име на събитие	Дата	M_w	R , km	Станция	Тип земна основа
2309	Bingol	5/1/2003	6.3	14	ST539	А
1635	South Iceland	6/17/2000	6.5	13	ST2487	А
291	U.Marche (aftershock)	10/6/1997	5.5	5	ST236	А
175	Lazio Abruzzo	5/7/1984	5.9	5	ST140	А
176	L.Abruzzo (aftershock)	5/11/1984	5.5	15	ST155	А
1635	South Iceland	6/17/2000	6.5	5	ST2486	А
2142	S.Iceland (aftershock)	6/21/2000	6.4	6	ST2483	А



**Фиг. 2. Спектри на реагиране на записите от извадка номер 1.
Целеви и усреднен спектър на реагиране (REXEL)**

В резултат на търсенето по критерий PGA и стойности на референтното земно ускорение 0.11g, 0.15g, 0.23g и 0.32g, се получават данните, представени в табл. 5.

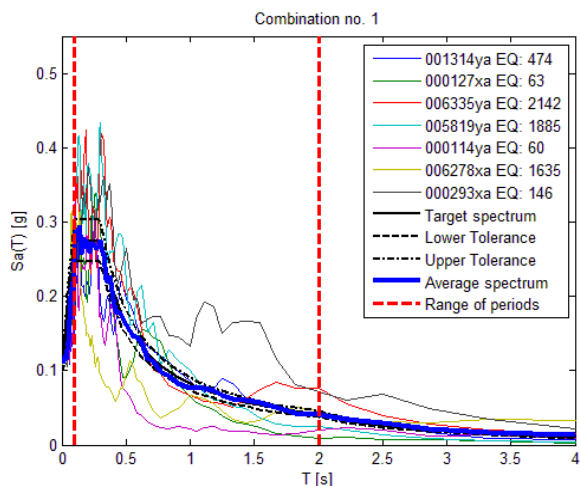
Таблица 5. Резултати при избора на реални акселерограми, чрез PGA [g]

a_g [g]	PGA [g]			
	земна основа тип:			
	А		С	
	брой извадки	тип земна основа на записите	брой извадки	тип земна основа на записите
0.11	201	всеки	0	-
0.15	0	-	0	-
0.23	0	-	0	-
0.32	1	всеки	2	всеки

В табл. 6 и на фиг. 3 са представени данните за една от получените извадки (референтен спектър на реагиране за земна основа тип А, референтно ускорение $a_g = 0.11g$ и PGA, попадащо в Зона 1).

Таблица 6. Параметри на записите от извадка номер 2
Забележка: участва по 1 хоризонтална компонента от всеки запис – по X или Y

Номер запис	Име на събитие	Дата	M_w	R, km	Станция	Тип земна основа
474	Ano Liosia	9/7/1999	6	14	ST1101	В
63	Friuli (aftershock) 1	9/15/1976	6	23	ST34	В
2142	S.Iceland (aftershock)	6/21/2000	6.4	21	ST2557	А
1885	Kalamata	10/13/1997	6.4	27	ST1321	А
60	Friuli (aftershock) 2	9/11/1976	5.3	6	ST24	В
1635	South Iceland	6/17/2000	6.5	22	ST2552	А
146	Campano Lucano	11/23/1980	6.9	5	ST99	В



Фиг. 3. Спектри на реагиране на записите от извадка номер 2. Целеви и усреднен спектър на реагиране (REXEL)

При селектирането на реални акселерограми на базата на интензитета на Ариас, I_a [2] най-напред се изчислява стойността на интензитета по метода на Travaşarou по зададени M_w и R (табл. 7). След това търсенето се извършва в интервала, определен в табл. 8 с приетите долна и горна граница за различните типове земна основа. Използването на I_a като критерий за търсене се прилага само за хоризонтални компоненти на записите (по X или Y).

Таблица 7. Изчисляване на интензитета на Ариас спрямо стойностите на M_w и R по метода на Travaşarou

R [km]	M_w	A		C	
		5.5	6.5	5.5	6.5
0.1		0.153	0.672	0.209	1.282
50		0.008	0.034	0.011	0.065

Таблица 8. Стойности на интензитета на Ариас при избор на реални акселерограми

Тип земна основа	Интензитет на Ариас [m/s]	
	Долна граница	Горна граница
A	0.008	0.672
C	0.011	1.282

Резултатите от търсенето са дадени в табл. 9 и са представени графично на фиг. 5 и фиг. 6. В табл. 10. и на фиг. 4 са представени данните на една извадка (референтен спектър на реагиране за земна основа тип C, референтно ускорение $a_g = 0.15g$ и $I_a = [0.13; 0.18]$).

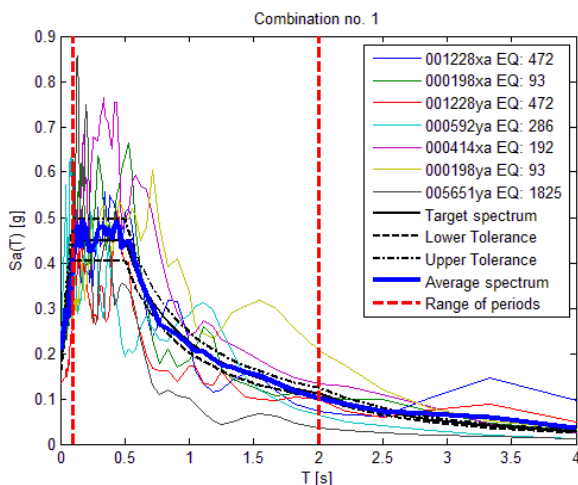
Таблица 9. Резултати при избора на реални акселерограми, чрез I_a [m/s]

a_g [g]	I_a			
	земна основа тип			
	А		С	
	брой извадки	тип земна основа на записите	брой извадки	тип земна основа на записите
0.11	1953	А	209	С
0.15	3088	А	1293	всеки
0.23	0	-	1	всеки
0.32	0	-	0	-

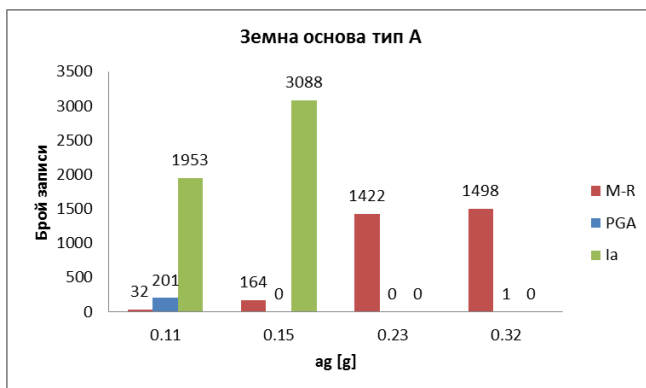
Таблица 10. Параметри на записите от извадка номер 3

Забележка: участва по 1 хоризонтална компонента от всеки запис – по X или Y

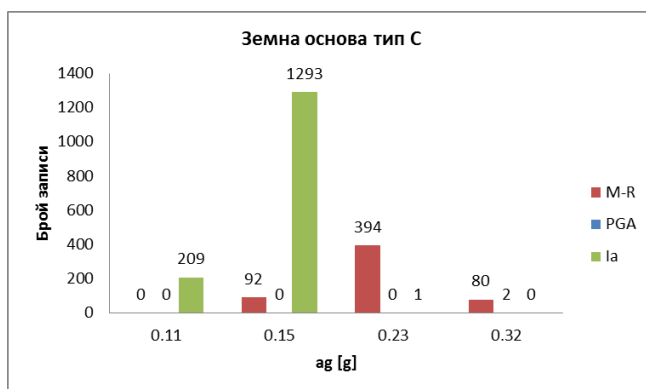
Номер запис	Име на събитие	Дата	M_w	R , km	Станция	Тип земна основа
472	Izmit (x)	8/17/1999	7.6	47	ST561	А
93	Montenegro (x)	4/15/1979	6.9	21	ST64	А
472	Izmit (y)	8/17/1999	7.6	47	ST561	А
93	Montenegro (y)	4/15/1979	6.9	21	ST64	А
192	Kalamata	9/13/1986	5.9	11	ST163	В
286	Umbria Marche	9/26/1997	6	5	ST221	С
1825	NE of Banja Luka	8/13/1981	5.7	7	ST2948	С



Фиг. 4. Спектри на реагиране на записите от извадка номер 3. Целеви и усреднен спектър на реагиране (REXEL)



Фиг. 5. Разпределение на записите по тип земна основа (тип А) и параметър на търсене



Фиг. 6. Разпределение на записите по тип земна основа (тип С) и параметър на търсене

5. Заключение

С непрестанното развитие на компютърните технологии нараства използването на нелинейния динамичен анализ на конструкциите за сеизмично реагиране. Една от основните трудности при прилагането на този метод е подбирането на подходящи записи на земетресения. Еврокод 8 предлага използването на набори от записи, чийто усреднен спектър на реагиране трябва да отговаря по форма на предписания спектър на реагиране.

В този доклад са представени някои от възможните методи за търсене и избор на реални акселерограми, чрез използване на програмен продукт REXEL. Изследването показва, че търсенето и изборът на записи при традиционния подход M_w-R дава по-добри резултати в сравнение с другите два разглеждани метода.

Представените на фиг. 5 и фиг. 6 резултати показват, че използването на параметъра I_a при избора на реални акселерограми е напълно приложимо. Все пак трябва да се има предвид, че използването му е желателно за Зона 1 и Зона 2, за разлика от Зона 3 и Зона 4, където липсват комбинации от записи, които да отговарят на търсенето. По отношение на използването на другия разглеждан параметър PGA, извършеното търсене с

REXEL за областите с референтно ускорение 0.15g, 0.23g и 0.32g не намира задоволителен брой подходящи комбинации от реални записи. Изключение прави случаят със $a_g = 0.11g$ и зададен тип земна основа на площадката А, при който получените набори от записи за Зона 1 (201) са напълно приложими за целите на сеизмичното проектиране. Тук трябва да се добави и фактът, че е възможно в случаите на недостатъчен брой реални записи за целите на проектирането да се добавят изкуствено генерирани или мащабирани акселерограми, което е предмет на бъдещо изследване.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ambraseys, N. N., Douglas, J., Sigbjörnsson, R., Berge-Thierry, C., Suhadolc, P., Costa, G., et al.* Dissemination of European Strong-Motion Data, vol. 2, Engineering and Physical Sciences Research Council, United Kingdom, 2004.
2. *Arias, A.* A Measure of Earthquake Intensity. Seismic Design for Nuclear Power Plants, 1970.
3. *Bojorquez, E., Iervolino, I.* Spectral shape proxies and nonlinear structural response. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, pp. 996-1008, 2011.
4. *Bray, J. D., Rodriguez-Marek, A.* Geotechnical site categories. First PEER PG&E Workshop on Seismic Reliability of Utility Lifelines. San Francisco, California, 1997.
5. *Cimellaro, G., Marasco, S.* A computer-based environment for processing and selection of seismic ground motion records: OPENSIGNAL. Frontiers in Built Environment, pp. 2297-3362, 2015.
6. *Corigliano, M., Lai, C., Rota, M., Strobbia, C.* ASCONA: Automated Selection of Compatible Natural Accelerograms. Earthquake Spectra, pp. 965-987, 2012.
7. *Cosenza, E., Manfredi, G.* Damage Index and Damage Measures. Progress in Structural Engineering and Materials, pp. 50-59, 2000.
8. COSMOS. <http://www.cosmos-eq.org/> посетен на 12.09.2017.
9. *Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E.* REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of Earthquake Engineering, pp. 339-362, 2010.
10. ITACA. itaca.mi.ingv.it.
11. K-NET. <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/> посетен на 12.09.2017.
12. *Mohraz, B.* Recent Studies of Earthquake Ground Motion and Amplification. 10th World Conference Earthquake Engineering, pp. 6695-6704. Madrid, Spain, 1992.
13. PEER. <http://peer.berkeley.edu/smcat/> посетен на 12.09.2017.
14. *Travasarou, T. B.* Empirical Attenuation Relationship for Arias Intensity. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2002.
15. БДС EN1998-1:2004. Еврокод 8: проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия.
16. БДС-EN1998-1/NA. Еврокод 8: проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия. Национално приложение (NA).
17. *Ганчева, Р.* Елементи на инженерната сеизмология. София: УАСГ, 60 стр., 2012.
18. *Солаков, Д. и колектив.* Сеизмично райониране на Република България, съобразено с изискванията на Еврокод 8 "Сеизмично осигуряване на строителни конструкции" и изработване на карти за сеизмичното райониране с отчитане на сеизмичния хазарт върху територията на страната. София. Отчет ГФИ 07-03, ГФИ-БАН, 38 стр., 2009.

METHODS FOR SELECTION OF SETS OF GROUND MOTION RECORDS FOR THE PURPOSES OF SEISMIC ENGINEERING USING REXEL SOFTWARE

M. Zhikov¹, G. Mollova²

Keywords: seismic records selection, real accelerograms, REXEL

ABSTRACT

Ground motion records are used for performing nonlinear dynamic analysis of structures. The required seismic records must comply with regulatory requirements and are selected by different criteria. EC8 provides requirements for the calculated average response spectrum (obtained from the selected seismic records) whose values should not differ by more than 10% from the target response spectrum with 5% damping. The search and selection of sets of real acceleration records is made by REXEL software. An overview of the included selection methods is provided. Two main approaches for selection of optimal sets of real accelerograms are discussed – by using peak ground acceleration (PGA) or by using Arias intensity (I_a) parameter. The purpose of the study is to analyse the applicability of the above alternative methods for record selection and to compare them with magnitude-epicentral distance criterion. Numerical and graphical results with selected ground motion sets are presented. Some application aspects are discussed.

1 Marian Zhikov, Eng., Ph.D. student, Dept. “Computer-Aided Engineering”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: zhikov_fce@uacg.bg

2 Guergana Mollova, Prof. Dr. Eng., Dept. “Computer-Aided Engineering”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: mollova_fce@uacg.bg