

---

## ВЕБ-БАЗИРАНА ПРОГРАМНА СИСТЕМА ЗА ГЕНЕРИРАНЕ И ОБРАБОТКА НА СЕИЗМИЧНИ ЗАПИСИ

Ив. Жеков<sup>1</sup>, Г. Моллова<sup>2</sup>

*Ключови думи:* сеизмични въздействия, реални акселерограми, изкуствени акселерограми, програмен продукт

*Научна област:* автоматизация на инженерния труд в строителството

### РЕЗЮМЕ

Разгледан е проблемът, свързан с набавянето на подходящи записи от земетресения при изследване на сеизмичното поведение на сгради и съоръжения с нелинеен динамичен анализ. Представени са някои от съществуващите програмни продукти за селекция, обработка и изкуствено генериране на записи и реализираните в тях подходи. Разгледани са характеристиките на нов програмен пакет с подобна насоченост. Възможностите на разработваната система за обработка и генериране на записи са демонстрирани с конкретни примери. За контрол на резултатите е извършено сравнение с друг, утвърден в практиката софтуерен продукт.

### 1. Въведение

При представяне на сеизмичните въздействия чрез набор от акселерограми при нелинеен динамичен *time-history (transient)* анализ е необходимо те да бъдат подбрани според строгите изисквания, заложи в Еврокод 8. Допустимият минимален брой записи във всяко направление е 3, като оптимални резултати се получават, когато този брой е поне 7, дори 12. От друга страна, записите трябва да отговарят на специфичната сеизмологична обстановка за конкретния район. **Реалните записи**, регистрирани от уреди, намиращи се в дадения район, са една от възможностите за набавянето на акселерограми, подходящи за такъв анализ. При наличие на много записи е необходимо да бъде избран най-подходящият набор от тях. Често пъти обаче техният брой е

---

<sup>1</sup> Ивайло Жеков, инж., кат. „Автоматизация на инженерния труд”, УАСГ, бул. „Христо Смирненски“ № 1, София 1046, e-mail: ivaylozhekov@gmail.com

<sup>2</sup> Гергана Моллова, проф. д-р инж., кат. „Автоматизация на инженерния труд”, УАСГ, бул. „Христо Смирненски“ № 1, София 1046, e-mail: mollova\_fce@uacg.bg

недостатъчен за покриването на изискванията, посочени в нормативните документи. В такива случаи се допуска използване на записи от други географски райони, но само след предприемане на съответни действия за тяхната обработка. Целта на обработката (машабиране) е привеждането им към конкретния сеизмичен хазарт на строителната площадка. Използването на **изкуствени акселерограми**, генерирани, така че да отговарят на този сеизмичен хазарт, е друга възможност за справяне с проблема при недостиг или липса на данни за минали сеизмични събития. Нито един от горните случаи не може да се реализира без използване на специализирани софтуерни продукти за **селекция, обработка и генериране** на записи. В настоящата статия ще бъдат разгледани някои от тях, както и разработването в момента *web*-приложение, което притежава някои от тези възможности.

## 2. Преглед на някои от съществуващите програмни пакети за работа с акселерограми

В момента съществуват и функционират редица световни и европейски бази данни, съдържащи широк спектър от реални акселерограми. Повечето от тях са налични за свободна употреба в Интернет, като например базите данни [1 – 6]: **PEER** /*Pacific Earthquake Engineering Research Center*/, **ESD** /*European Strong Motion Database*/, **COSMOS** /*Consortium of Organizations for Strong Motion Observation Systems*/, **ITACA** /*Italian Accelerometric Archive*/, **K-NET** /*NIED Strong-motion Seismograph Networks*/, **SIMBAD** /*Selected Input Motions for displacement-Based Assessment and Design*/ и др. Те предоставят на потребителя възможност за търсене по многобройни критерии, като например име на станция, магнитуд, епицентрално разстояние, почвени условия и т.н. Това е удобно за едно предварително отсяване на възможните кандидат-записи, измежду които ще се извърши изборът (селекцията) на окончателния набор от времеви серии. Необходими са минимум три броя акселерограми за дадено направление.

Друг вариант за **избор** дават Matlab-базираните пакети **REXEL** и **REXEL-DISP** [7, 8], при които крайният набор акселерограми се получава от пълното комбиниране на всички кандидат-записи. Като резултат се получава оптимален набор от акселерограми, чийто осреднена спектрална крива най-точно съответства на предварително дефиниран спектър на реагиране (хоризонтален и/или вертикален). Целевият спектър на реагиране (*target spectrum*) при REXEL v.3.5 може да се зададе съобразно изискванията на Еврокод 8, кода на Италия (*Italian Building Code*), или да се зададе от потребителя. Като резултат, системата намира група записи (1, 7, или 30 на брой), чийто осреднен спектър съответства най-добре на целевия. Всяка от посочените групи записи може да съдържа един, два или три компонента на сеизмичното въздействие.

Към програмните системи, които осъществяват **обработка** върху акселерограмите (*strong motion data processing*), спадат такива, които реализират **корекция** върху реално снетите записи от сеизмичните станции. Корекцията върху записите се налага поради наличието на редица фактори (грешка на регистриращия уред, случаен шум, грешка от дискретизация и др.). За тази цел се прилагат методите за цифрова филтрация, а така също се извършва корекция на базовата линия. Има няколко важни показателя при избора на **цифров филтър** за обработка на акселерограми [9]: метод за филтрация (Бътървурт, Бесел, Чебишев и др.), тип филтър (тук основен е изборът между каузален/акаузален филтър), степен на филтъра и гранични честоти в лентата на пропускане. Възможно е да се приложи лентов филтър или последователно да се използват нискочестотен и високочестотен филтър в честотна област.

В световните бази данни записите могат да бъдат намерени в два варианта – в суров вид (без никаква обработка, *raw format*) и в коригиран вид, обработени и готови за по-нататъшна практическа работа с тях (избор, мащабиране и т.н.).

Програмният пакет **SeismoSignal** [10] е мощен инструмент, който включва редица възможности за обработка на реалната акселерограма (една на брой) и извличане на различни сеизмологични параметри от нея – Фуриеров амплитуден спектър, спектър на мощностите, спектрални криви и др. При обработката на записите потребителят може да избира между различни каузални IIR (*Infinite Impulse Response*) филтри, получени по методите на Бътървурт, Чебишев (тип I/тип II) и Бесел. Посочва се също видът на приложния филтър (нискокочестотен, високочестотен, лентов, режекторен), граничните честоти в лентата на пропускане и степента на филтъра. При корекция на базовата линия се използва методът на най-малките квадрати с прилагане на полиномна крива (полиноми до 3-ти ред). В допълнение, поради пълната интеграция с *Windows*, SeismoSignal позволява числените и графичните резултати да бъдат преместени в произволно *Windows*-приложение.

Специален софтуерен продукт за обработка на акселерограми е създаден към USGS (*US Geological Survey*) – **BAP** (*Basic Strong-Motion Accelerogram Processing Software*) [11], който е наличен за ползване от потребителите на Интернет в две версии (v.1.0 и v.1.1). **BAP** изчислява велосиграмата и характеристиката на преместването от изходната акселерограма, прави линейна корекция на базовата линия, прилага корекция за грешката на инструмента, филтрира високите и/или ниските честоти от времевите характеристики (особеното е, че прилага акаузален рекурсивен филтър), изчислява Фуриеровия амплитуден спектър и определя спектъра на реагиране.

Системата **SeismoSpect** поддържа близки възможности до тези на SeismoSignal, но е предназначена за работа с повече от един запис. SeismoSpect служи за: (1) създаване на персонална библиотека със сеизмични записи и записването им в единичен файл за по-нататъшна употреба; (2) изчисление на осреднен спектър на реагиране от избрани акселерограми и сравнение с шаблонен спектър.

Друг програмен продукт, разработен от SeismoSoft Ltd., е **SeismoMatch**. Той е предназначен за **мащабиране**, т.е. извършва “настройка” на акселерограмите към конкретен шаблонен спектър с използване на уейвлет (*wavelet*) – алгоритъм, предложен от авторите [12]. Възможна е работа с един или повече записи. Шаблонният спектър се задава съгласно изискванията на Еврокод 8 или е потребителски дефиниран. Друга надеждна програма, която прилага уейвлет-метода за единични записи, е **RspMatch** [13]. Тук може да се спомене и програмната система **RASCAL**, разработена от *W. Silva* [14], която наред с другите възможности има и модул за мащабиране в честотна област посредством Фуриерова трансформация.

Друга Matlab-базирана система за цифрова обработка на записи е **Proschema** [15]. Тя има сходни характеристики, сравнени с BAP и SeismoSignal по отношение на изчислителни възможности, но има по-усъвършенстван интерфейс. Освен това потребителят може да извърши специфична обработка върху определен запис или да последва предложената в системата автоматизирана процедура върху набор от записи.

Във връзка с **генерирането на изкуствени акселерограми** могат да бъдат споменати различни методи и програмни продукти, разработени до този момент. Методът, заложен например в пакета **Simkqe** [16], е базиран на получаване на стационарна времева серия от незатихващи синусоиди със случайно избрани кръгови честоти, фазови ъгли и амплитуди. Получената серия се коригира чрез предварително избрана обвивна (*envelope*) функция. Друг подход предлага **SeismoArtif** [10], при който изкуствената акселерограма се получава на база реална такава (*semi-artificial*) чрез маща-

бирането ѝ в честотна област. Така реалният запис се модифицира до задоволително съвпадение на неговия спектър с предварително избран целеви такъв чрез адаптиране на честотното съдържание.

Различно решение за изкуствени акселерограми реализира софтуерният пакет **Belfagor** [17] посредством директно генерирани нестационарни сигнали и с прилагане на полумемричния метод на *Sabetta* и *Pugliese* [18].

### **3. Представяне на разработваната програмна система – цел, функционалности и графична среда**

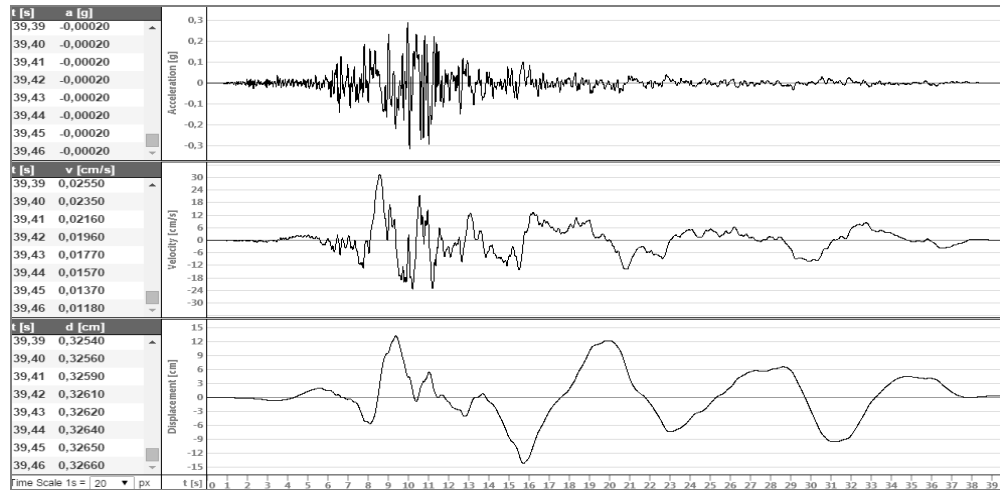
Представената нова програмна система е в процес на разработка. Целта за нейното създаване бе алгоритмизирането на някои известни методи за обработка на записи, тяхното оптимизиране, както и търсене на нови възможности за генериране на изкуствени акселерограми. Освен това, до този момент такъв тип програми не са реализирани като *web*-приложения, което в случая би добавило редица преимущества, що се отнася до достъп, съхранение на данни, споделяне на резултати и др.

Възможностите на системата към този момент включват:

- Отваряне на акселерограма от файл или от наличните в *Internet* бази данни;
- Изчисление на велосиграмата и сеизмограмата от записа чрез последователно числено интегриране и тяхното визуализиране в графична среда /вж. фиг. 1/. Всички елементи са интерактивни и динамични за по-добро представяне на данните;
- Изчисление на редица сеизмологични параметри като: максимални стойности на ускорението (PGA), скоростта (PGV) и преместването (PGD); Интензитет (Arias Intensity, Ia); Средноквадратична стойност на ускорението (RMS acceleration) и др.;
- Приложение на бърза Фуриерова трансформация /права и обратна/ за преминаване от времева към честотна област и обратно. Тази функция е необходима при някои от процедурите за обработка;
- Изчисление и графично представяне на фуриеровия амплитуден спектър;
- Получаване на спектрална крива от запис чрез многократно решение на уравнението за движение на системи с една степен на свобода (СЕСС) с различни собствени честоти от разглежданото въздействие;
- Машабиране на запис към целеви спектър на реагиране. Приложена е итеративна процедура за машабиране в честотна област, която се основава на модифициран вариант на алгоритъма на *Nikolaou* [19];
- Генериране на изкуствена акселерограма. Приложен е първи вариант на нов метод за генериране на сеизмични записи. Целта е получаване на нестационарна серия, съобразена с дефиниран целеви спектър, която има реалистично енергийно съдържание и реалистични велосиграма/сеизмограма.

Приложението е *web*-базирано, а графичната среда е създадена чрез различни HTML5 [20] елементи, които взаимодействат помежду си чрез скриптов езици като JavaScript и CSS [21, 22]. Използвани са различни JavaScript библиотеки за дву- и триизмерните визуализации като WebGL [23] и др. Логиката на приложението се намира на сървърната част, разработена в C#.NET среда [24].

На фиг. 1 е показан елемент от графичната среда, на който се виждат графиките и табличното представяне на параметрите на земното движение – ускорение, скорост и преместване на записа Imperial Valley, USA.



Фиг. 1. Времени серии. Запис: Imperial Valley, USA, 1979/10/15, USGS STATION 5115

#### 4. Мащабиране на акселерограма в честотна област

Системата реализира итеративен алгоритъм за мащабиране на акселерограми в честотна област чрез промяна на техния честотен състав (разгледан е подробно в [25]).

В оригиналния метод на *Nikolaou* [19] при всяка итерация записът се представя в честотна област чрез трансформация на Фурие /вж. формула 1/. Впоследствие всяка ордината от фуриеровия амплитуден спектър се умножава със съответното спектрално отношение  $R_i$ , зададено от формула 2. Мащабираният запис се получава чрез обратна Фуриерова трансформация /формула 3/.

$$F(\omega) = \int_0^{\tau_0} a(t) e^{-i\omega t} dt; \quad (1)$$

$$R_i = Sa_{Target}(f)_i / Sa_{Actual}(f)_i; \quad (2)$$

$$a(t)_1 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\Omega} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega. \quad (3)$$

В горните формули с  $\tau_0$  е означена продължителността на записа  $a(t)$ ,  $\Omega$  е горната граница на честотния диапазон,  $F(\omega)$  е комплексно число,  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$  – кръгова честота, а  $Sa_{Target}(f)$  и  $Sa_{Actual}(f)$  са целеви и изчислен спектър на реагиране.

Едно от основните изисквания, заложили в различните нормативни документи, включително и в Еврокод 8, е спектралната крива на получения запис да съответства на нормативния спектър на реагиране в интервала  $0, 2T_1 - 2T_1$ , където  $T_1$  е първият

собствен период на конструкцията. Съответно средното квадратично отклонение  $\delta$  /вж. формула 4/ е допустимо да е в интервала  $\delta \in (10\% - 30\%)$ . В случая за програмната система е прието удовлетворяване на условието  $\delta \leq 10\%$  в целия честотен интервал.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{Sa_{Actual}(T_i) - Sa_{Target}(T_i)}{Sa_{Target}(T_i)} \right)^2} \quad (4)$$

В разработения модифициран вариант на горния алгоритъм спектралните отношения  $R_i$  се повдигат на квадрат. Така филтрацията се осъществява както следва:

$$F(\omega)_{i_i} = F(\omega)_i R_i^2, \quad (5)$$

а коригираният запис се мащабира във времева област с коефициент  $k$  [25]:

$$k = \frac{\int Sa_{Actual}(T) dT}{\int Sa_{Target}(T) dT} \quad (6)$$

Експериментите показаха, че една такава модификация е удачна, тъй като намалява броя на итерациите почти наполовина (в табл. 4 по-долу е представено подробно сравнение). Допълнителна оптимизация е постигната и чрез заменяне на обикновената **Фуриерова трансформация** в системата с **Бърза Фуриерова трансформация** /Fast Fourier Transform, FFT/, съответно права и обратна, с което също се редуцира общото време за изчисление.

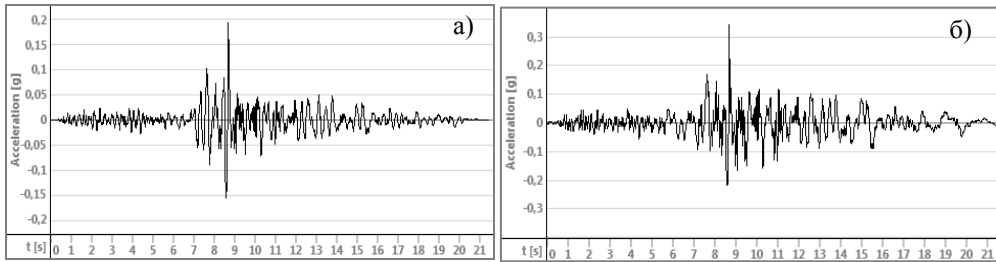
## 5. Сравнителни изследвания – графични резултати

За изследване на ефектите от мащабиране бяха избрани два броя акселерограми от базата данни PEER [1] /вж. табл. 1 и табл. 2/. Записите са предварително обработени чрез цифрова филтрация за отстраняване на случаен шум и грешки от регистриращия уред. Извършено е мащабиране с предложената програмна система и **SeismoMatch** (за еднаквост и при двете системи записите са приведени към сеизмичния хазарт за района на гр. София). Както бе посочено по-горе, **SeismoMatch** реализира различен подход при мащабирането (уейвлет), но в случая се интересуваме от сравнение на изчислените сеизмологични параметри. За оценка на енергийното съдържание на мащабираните записи използваме зависимостта за интензитета  $I_a$ :

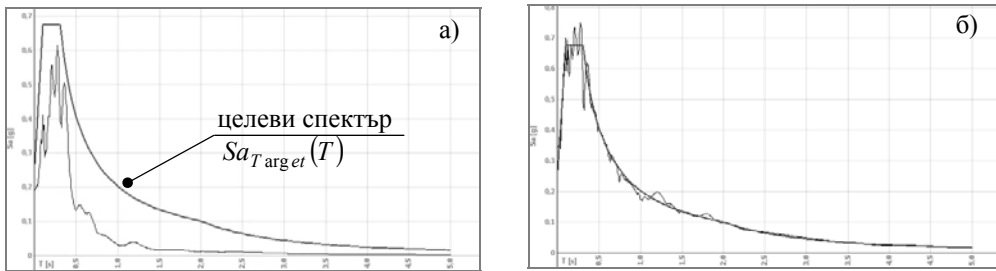
$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\tau_0} [a(t)]^2 dt \quad (7)$$

Таблица 1. Параметри на запис Trinidad, USA

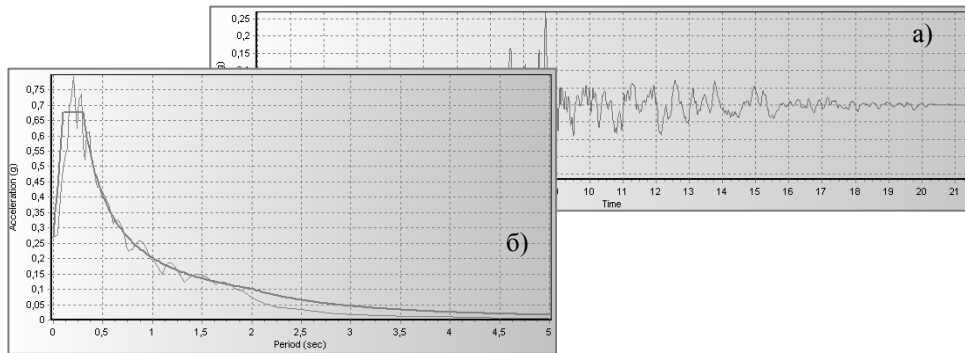
Име запис	Дата	Станция	Направление	Магнитуд
Trinidad, USA	1983/08/24	CDMG STATION 1498	090	5.7



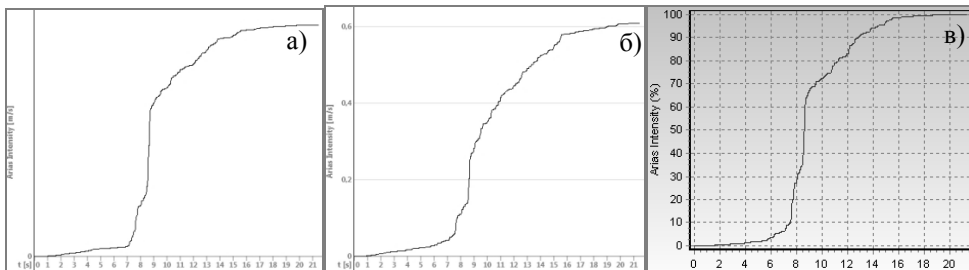
Фиг. 2. Запис Trinidad, USA: Акселерограма а) преди мащабиране; б) след мащабиране с представения програмнен продукт /Брой итерации – 3/



Фиг. 3. Запис Trinidad, USA: Спектри а) преди мащабиране; б) след мащабиране с представения програмнен продукт /Брой итерации – 3/



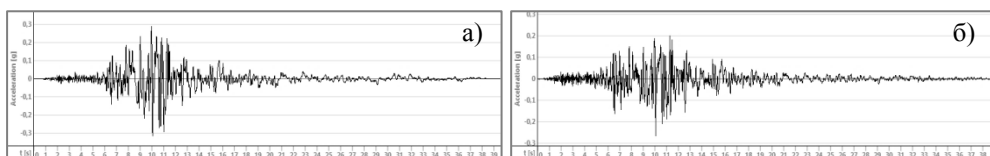
Фиг. 4. Запис Trinidad, USA след мащабиране. Резултати от SeismoMatch: а) акселерограма; б) целеви спектър и изчислен спектър /Брой итерации – 17/



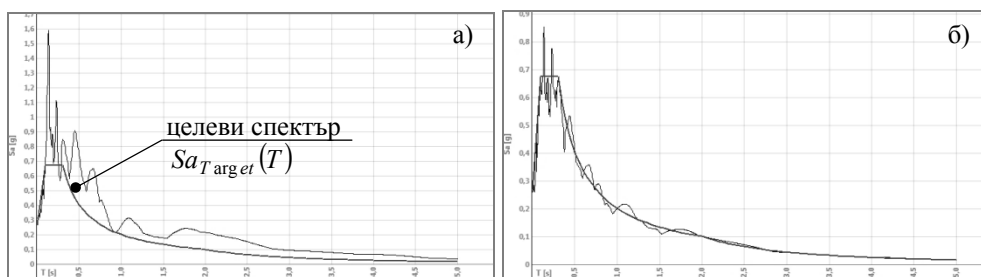
Фиг. 5. Запис Trinidad, USA: Зависимост  $I_a=f(t)$  а) преди мащабиране; б) след мащабиране с представения програмнен продукт; в) мащабиране със SeismoMatch

Таблица 2. Параметри на запис Imperial Valley, USA

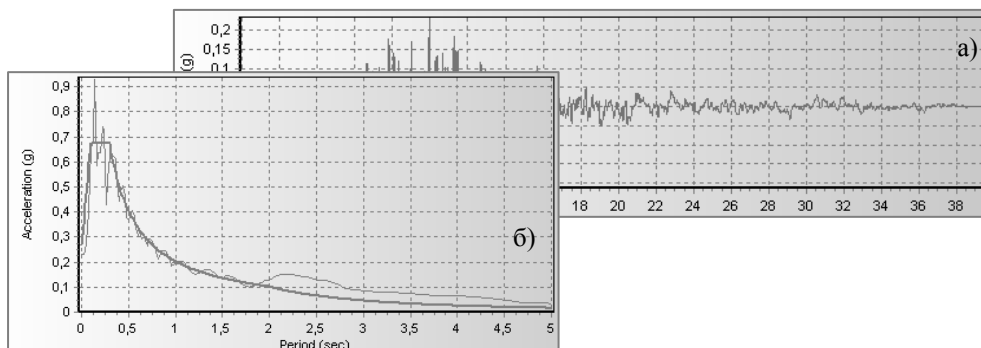
Име запис	Дата	Станция	Напр.	Магнитуд
Imperial Valley, USA	1979/10/15	USGS STATION 5115	000	6.53



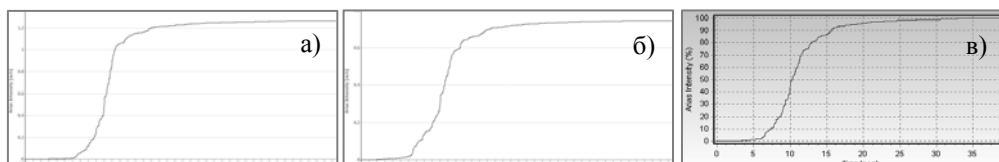
Фиг. 6. Запис Imperial Valley, USA: Акселерограма а) преди мащабиране; б) след мащабиране с представения програмнен продукт /Брой итерации – 3/



Фиг. 7. Запис Imperial Valley, USA: Спектри а) преди мащабиране; б) след мащабиране с представения програмнен продукт /Брой итерации – 3/



Фиг. 8. Запис Imperial Valley, USA след мащабиране. Резултати от SeismoMatch: а) акселерограма; б) целеви спектър и изчислен спектър /Брой итерации – 30/



Фиг. 9. Запис Imperial Valley, USA: Зависимост  $I_a = f(t)$  а) преди мащабиране; б) след мащабиране с предложени програмнен продукт; в) мащабиране със SeismoMatch

## 6. Обобщение на резултатите и анализ

Извършените манипулации върху записите чрез двете програмни системи са показани графично на фиг. 2 – фиг. 9. Сеизмологичните параметри преди мащабиране и тези след мащабиране са обобщени в табл. 3.

Първоначално се забелязва голямата разлика в броя итерации, необходим за мащабиране на записите чрез двете програми. Това се дължи на факта, че те реализират различни подходи. По-осезаема разлика се наблюдава и при изчислението на параметъра  $I_a$  за запис **Trinidad, USA** от двете програми. Причината за това е, че предложеният програмен продукт постига по-добро съвпадение в спектрите на реагиране /цели и изчислен/ при ниските периоди /високите честоти/, което увеличава енергийното съдържание на акселерограмата.

Таблица 3. Обобщение на резултатите от мащабиране

Име запис	Trinidad, USA	Imperial Valley, USA
Отклонение $\delta$ [%] преди мащабиране	80.25%	115.54%
Отклонение $\delta$ [%] след мащабиране #1	7.26%	8.31%
Отклонение $\delta$ [%] след мащабиране #2	8.0%	8.50%
Необходим брой итерации #1	3	3
Необходим брой итерации #2	17	30
PGA [g] преди мащабиране	0.194g	0.315g
PGA [g] #1	0.343g	0.265g
PGA [g] #2	0.268g	0.231g
$I_a$ [m/s] преди мащабиране	0.170	1.265
$I_a$ [m/s] #1	0.608	0.744
$I_a$ [m/s] #2	0.369	0.826

\*Резултатите, маркирани с #1, са получени чрез представения програмен продукт, а тези, маркирани с #2, чрез SeismoMatch

По-долу в табл. 4 е разгледан ефектът от модификацията на оригиналния метод за мащабиране на акселерограми, предложен от *Nikolaou* [19]. Дадени са броят необходими итерации за достигане на еднакви нива на средноквадратично отклонение  $\delta$  /вж. формула 4/ при оригинален и модифициран вариант, компютърното време необходимо за всяка итерация и общото време за мащабиране. Вижда се, че модифицираният вариант намалява броя на итерациите наполовина, като увеличението на времето за изчисление при всяка итерация е незначително.

Таблица 4. Съпоставка между оригинален/модифициран метод за мащабиране

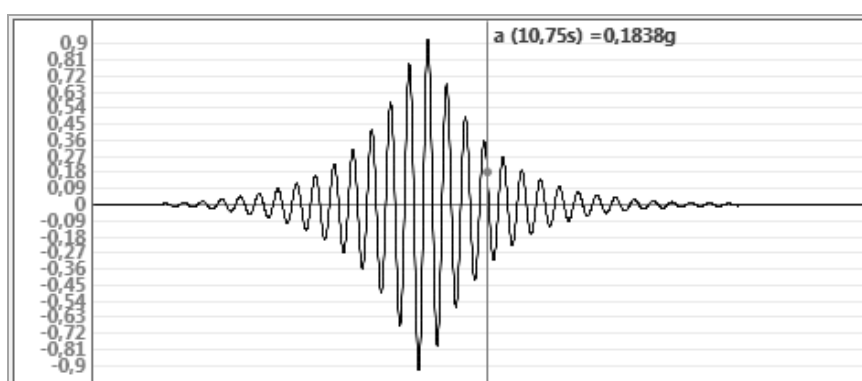
Име запис	Trinidad, USA	Imperial Valley, USA
Необходим брой итерации #1	6	9
Необходим брой итерации #2	3	3
Необходимо време за всяка итерация #1	11 s	19 s
Необходимо време за всяка итерация #2	13 s	22 s
Общо време #1	66 s	171 s
Общо време #2	36 s	66 s

\*Резултатите, маркирани с #1, се отнасят за оригиналния алгоритъм, а тези, маркирани с #2, за неговия модифициран вариант

## 7. Генериране на изкуствени акселерограми

Модулът за генериране на изкуствени акселерограми реализира идеята, че земетресенията са ограничени във времето случайни събития, които могат да бъдат разглеждани като съвкупност от сеизмични вълни, пристигащи в случаен момент и последователност на дадено място. За представяне движението на земната основа при пристигането на отделните сеизмични вълни е избрана функцията на хармонично затихващо трептене с амплитуда  $A$  и коефициент на затихване  $\zeta$  (вж. фиг. 10):

$$x(t) = Ae^{-\zeta\omega|t|} \sin(\omega t). \quad (8)$$



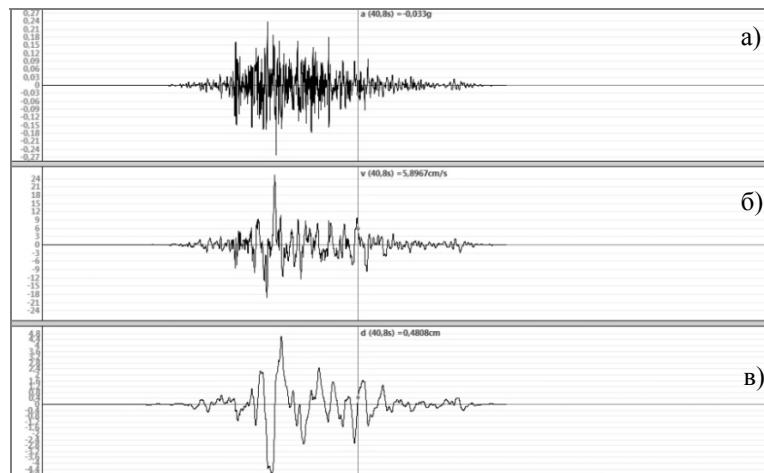
Фиг. 10. Хармонично трептене:  $\omega = 0.5$ ,  $A = 1$ ,  $\zeta = 5\%$   
/максимална амплитуда за  $t = 9$  s/

Ускоренията се получават чрез двойното диференциране на приетата функция  $x''(t)$ . Такова представяне на сеизмичните вълни позволява да бъде удовлетворено едно от основните изисквания при генериране на изкуствени акселерограми – нулеви стойности на велосиграмата и сеизмограмата в началните и крайните моменти.

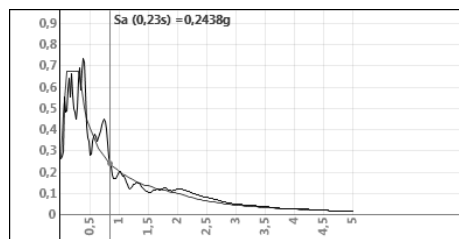
Наслагването (сумата) от  $M$  на брой трептения дава крайния запис. Всяко от тях е със случайни стойности на кръговата честота  $\omega$  и момента време за пристигане на вълната. Амплитудата  $A$  е съобразена с целевия спектър на реагиране за съответната честота  $\omega$ , а стойността на коефициента на затихване се подбира, така че трептенето да затихва в рамките на въздействието.

На този етап, заради многото случайни елементи, генерираната изкуствена акселерограма притежава спектър, чието отклонение  $\delta$  е в рамките на 15 – 35%. Пример за така генерирана изкуствена акселерограма е даден на фиг. 11 (записът е генериран за района на гр. София). Целевият и изчисленият спектър са дадени на фиг. 12. За да бъде получено желаното средноквадратично отклонение  $\delta \leq 10\%$ , така полученият „суров“ запис може да бъде дообработен от системата чрез мащабиране в честотна област по представената по-горе процедура.

За да може тази необходимост да отпадне, в момента се работи по реализиране на уейвлет-алгоритъм, чрез който  $\delta$  да се контролира по-прецизно при генериране на акселерограмата. Очаква се по този начин да се съблюдават и други важни параметри (напр. тези, свързани с енергийното съдържание и др.).



Фиг. 11. Изкуствено генерирана от системата акселерограма: а) акселерограма; б) велосиграма; в) сеизмограма



Фиг. 12. Спектър на реагиране на изкуствено генерирана от системата акселерограма. Стойност на средноквадратичното отклонение:  $\delta = 17,69\%$

Основните изисквания при генерирането на изкуствени акселерограми съгласно Еврокод 8 са свързани с реалистичността на записите по отношение на някои параметри. Времетраенето на активната фаза трябва да бъде поне 10 s. Параметрите на движението – ускорение, скорост, преместване трябва да имат реалистичен вид, също да започват и завършват на нула. Необходимо е да се използват минимум 3 броя акселерограми. Получената от тях осреднена спектрална крива /mean spectrum/ с 5% демпфиране не трябва да съдържа нито една ордината, която да е по-малка от 90% от съответната ѝ стойност от еластичния целеви спектър на реагиране. Също така стойността на осредненият спектър при нулев период не трябва да е по-малка от стойността на изчислителното ускорение на земната основа, умножено по почвения коефициент за разглежданата площадка, а именно  $a_g S$ .

## 8. Заключителни бележки и насоки за бъдеща работа

Представени бяха възможностите на програмната система за обработка и генериране на сеизмични записи. Примерите от процедурата за мащабиране в честотна област показваха, че системата дава надеждни резултати, които се доближават до резултатите от SeismoMatch. Работата по модула за мащабиране ще продължи с оглед на

подобряване на бързодействието и добавяне на нови функционалности (корекция на базовата линия за отстраняване на някои нежелани ефекти от обработката и др.).

Добри резултати се виждат и при модула за генериране на изкуствени акселерограми, който ще бъде оптимизиран чрез прилагане на уейвлет-алгоритъм.

Крайната цел е получаване на работещ програмен продукт за работа с акселерограми. Разработвана като свободно за употреба *web*-приложение, системата ще предоставя възможност за бърз и лесен достъп, запазване и споделяне на данни между потребителите в тяхната инженерна или научноизследователска работа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://peer.berkeley.edu/smcat/>.
2. [http://www.isesd.hi.is/ESD\\_Local/frameset.htm](http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm).
3. <http://www.cosmos-eq.org/>.
4. [http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet/itaca10\\_links.htm](http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet/itaca10_links.htm).
5. <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>.
6. [http://wpage.unina.it/iuniervo/SIMBAD\\_Database\\_Polimi.pdf](http://wpage.unina.it/iuniervo/SIMBAD_Database_Polimi.pdf).
7. <http://www.reluis.it/>.
8. *Iervolino I., C. Galasso, E. Cosenza*. REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 339-362, 2010.
9. *Моллова, Г.* Приложение на цифровата филтрация за обработка на акселерограми от земетресения. Изд. на СУБ, София, 122 стр., 2012.
10. <http://www.seismosoft.com/en/seismosignal.aspx>.
11. [http://nsmp.wr.usgs.gov/bap/BAP\\_v10.pdf](http://nsmp.wr.usgs.gov/bap/BAP_v10.pdf).
12. *Hancock, J., J. W.-Lamprey et al.* An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets. *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 67-89, 2006.
13. <http://www.geomotions.com/Download/RspMatchEDTTutorial.pdf>.
14. <http://www.pacificengineering.org/Rascal%20Code/RASCAL%20CODE.pdf>.
15. *Segou, M., N. Voulgaris*. Proschema: A Matlab application for processing strong motion records and estimating earthquake engineering parameters. *Computers and Geosciences*, vol. 36, no. 7, pp. 977-986, 2010.
16. *Vanmarcke, E. H., C. A. Cornell et al.* SIMQKE-I: Simulation of Earthquake Ground Motions, [http://dicata.ing.unibs.it/gelfi/software/simqke/simqke\\_gr.htm](http://dicata.ing.unibs.it/gelfi/software/simqke/simqke_gr.htm).
17. *Iervolino, I., F. De Luca, E. Cosenza*. Spectral shape-based assessment of SDOF nonlinear response to real, adjusted and artificial accelerograms. *Engineering structures*, vol. 32, pp. 2776-2792, 2010.
18. *Sabetta, F., A. Pugliese*. Estimation of response spectra and simulation of non stationary earthquake ground motions. *Bulletin of Seismological Society of America*, vol. 86, no. 2, pp. 337-352, 1996.
19. *Nikolaou, A. S.* A GIS Platform for Earthquake Risk Analysis. Ph.D. Thesis, State University of New York at Buffalo, 1998.

20. HTML5 - [http://www.w3schools.com/html/html5\\_intro.asp](http://www.w3schools.com/html/html5_intro.asp).
21. JavaScript - <http://www.w3schools.com/js/>.
22. CSS - <http://www.w3schools.com/css/>.
23. WebGL - <https://www.khronos.org/webgl/>.
24. C#.NET - <https://msdn.microsoft.com/en-us/vstudio/hh341490.aspx>.
25. *Жеков, Ив., Г. Моллова*. Машабиране в честотна област при обработка на акселерограми от земетресения. Ежегодна научна конференция на СУБ-Пловдив, България, 31 окт. – 01 ноември 2014.

Постъпила: април 2015 г.

## WEB-BASED APPLICATION FOR STRONG MOTION RECORDS GENERATION AND PROCESSING

Iv. Zhekov<sup>1</sup>, G. Mollova<sup>2</sup>

**Keywords:** *strong motion records, real accelerograms, artificial accelerograms, software product*

**Research area:** *computer-aided engineering*

### ABSTRACT

The problem of gathering adequate strong motion records for nonlinear dynamic analysis of structures and buildings is discussed. Some of the existing software solutions for selection, processing and artificial generation of seismic records are listed as well as the different approaches applied in them. The features of a new software product with similar focus are presented. The capabilities of the system for processing and generation of accelerograms are demonstrated with concrete examples. The results are compared with another well-known software product in order to prove its reliability.

---

<sup>1</sup> Ivaylo Zhekov, Eng., Dept. "Computer-Aided Engineering", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: [ivaylozhekov@gmail.com](mailto:ivaylozhekov@gmail.com)

<sup>2</sup> Guergana Mollova, Prof. Dr. Eng., Dept. "Computer-Aided Engineering", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: [mollova\\_fce@uacg.bg](mailto:mollova_fce@uacg.bg)

