

CZU 550.343

Vasilachi A. *

Tendențe moderne în evaluarea riscului seismic

Abstract

Paper represents an overview of literature in the field of seismic risk. There is a range of works, dedicated to the issue of seismic risk, in some countries the problem is already treated at the level of laws and special regulations. The paper refers mainly to the description of existing methods for estimating the vulnerability of different types of construction, the advantages and disadvantages of each method are also analyzed.

Rezumat

Articolul reprezintă o sinteză a literaturii din domeniul riscului seismic. Există o gamă largă de lucrări, dedicate problemei riscului seismic; în unele state problema în cauză este deja tratată la nivel de legi și acte normative obligatorii. Lucrarea se referă în special la descrierea metodelor existente de estimare a vulnerabilității diferitor tipuri de construcții; de asemenea, sunt analizate avantajele și neajunsurile fiecărei metode.

Problema riscului seismic este abordată de o serie de autori din diferite țări, cum ar fi: Wai-Fah Chen [49], Charles Scawthorn [49] (SUA), Mustafa Erdik [47], (Turcia), Hirokazu Iemura [45], (Japonia), Dan Lungu [46], Dubina D [34] (Romania), Berjinschi L [3], Aizenberg E. [2] (Rusia), Nemcinov Iu. [9] Egupov C. [6] (Ucraina), Alcaz V. (R.Moldova) [13], și alții. În mare parte literatura din domeniul dat se referă la descrierea metodelor de estimare a vulnerabilității diferitor tipuri de construcții ținând cont de specificul condițiilor geofizice ale zonelor în care ele sunt amplasate.

O primă clasificare a metodelor de evaluare a riscului seismic este adusă în lucrarea [3], și anume:

- 1) metode bazate pe concluziile experților;
- 2) metode bazate pe calcule analitice;
- 3) metode bazate pe investigații tehnice. Mai jos sunt descrise succint câteva din ele.

1. Metode bazate pe opiniile experților

Metoda elaborată în Rusia, intitulată „Методические рекомендации по инженерному анализу последствий землетрясения” [3], are la bază investigarea clădirilor după producerea unui seism. Totodată, în lucrare se expun și procedee de evaluare a caracteristicilor dinamice ale clădirilor, cât și determinarea caracteristicilor de rezistență a structurilor portante. Clasificarea deteriorărilor în construcții este efectuată în raport cu scara de intensitate MSK64, fiind descrise diferite scheme constructive, gradul de deteriorare a acestora pe o scară de la 0 la 5, fisurile din elementele portante.

* Universitatea Tehnică a Moldovei

O altă metodă din această clasă, de asemenea elaborată în Rusia [3], este metodă bazată pe completarea unei anchete în care inginerul – investigator trebuie să răspundă la 10-14 întrebări, ce țin de corespunderea edificiului concret normelor de construcție antiseismică. Menționăm, că metoda este una imperfectă, deoarece nu toți factorii analizați au aceeași pondere la determinarea rezistenței seismice; doar 4-5 sun decisivi, dar care pot compromite rezultatul final.

Al treilea exemplu de metodă, bazată pe opiniile experților este descrisă în sursa [3], Georgia. Metoda fiind analogică cu cea precedentă, are la bază investigarea soluțiilor expuse în proiect și compararea acestora cu normele în vigoare de către experți calificați. Rezistența seismică a clădirii este definită ca fiind gradul de abatere a construcției de la normativele privind construcții antiseismice. Întreg principiu este bazat pe calculul conform formulei:

$$K_{sr} = \frac{\sum_i q_i b_i}{\sum_i q_i},$$

unde:

K_{sr} – este coeficientul seismorezistenței relative, exprimat în fracțiuni de unitate, i – sunt factorii ce necesită a fi luați în calcul și care sunt stipulați de normativele în vigoare.

La calculul fiecărui factor i se atribuie doi parametri: q_i , care determină gradul de importanță al factorului, exprimat în fracțiuni de unitate, și b_i , parametrul, ce descrie gradul de abatere a factorului i de la normele în vigoare, de asemenea măsurat în fracțiuni de unitate. Valorile ambilor parametri se determină cu ajutorul opiniilor experților.

Neajunsul de rezistență seismică este calculate conform unei formule tip polinom de gradul trei, și anume $NRS = 4.095(1 - K_{sr}) - 8.761(1 - K_{sr})^2 + 9.142(1 - K_{sr})^3$, în care NRS reprezintă neajunsul de rezistență seismică. De menționat, că această relație este valabilă pentru valorile $K_{sr} \geq 0.125$, pentru valorile K_{sr} : 1, 0.5, 0.25, 0.125 se obțin valori ale lui NSR : 0, 1, 2, 3. Șirul valorilor lui K_{sr} este construit pe principiul dublării încărcăturii seismice, principiu care este stipulat în SNiP II-7-81 [12], și principiul dublării accelerațiilor de calcul după scara de intensități MSK-64.

Neajunsul metodei date constă în faptul, că rămâne necunoscut gradul de corelare dintre opiniile primare ale experților și valorile statistice ale lui NRS , deoarece metoda dată nu prevede utilizarea principiilor statistice. Valorile obținute ale lui NRS se recomandă să fie calculate cu o exactitate de până la 0.25 din grad, cu toate că exactitatea general valabilă pentru gradul de aprecieri macroseismice, conform lui N. Șebalin [3], (1975), este de 0.5 grade.

Repartizarea factorilor dați în factori generali caracteristici pentru toate tipurile de construcții și factori diferențiali, ce țin de tipul schemei constructive (schelet, panouri mari, zidărie portantă) sunt acceptați în mare măsură după pricipii formale, ci nu unele bine argumentate. Conform lucrării lui Țepiniuc (1988) [3], rezistența seismică a clădirilor și edificiilor este condiționată de doi factori vitali:

- 1) capacitatea schemei constructive de a opune rezistență la acțiunile seismice;
- 2) măsurile antiseismice ,ce sunt luate la faza de proiectare.

2. Metode bazate pe calcule analitice

Una din metode din această grupă este metoda [3], Kazahstan. Conform acestei metodologii toate construcțiile sunt clasificate în raport cu rezistența seismică în 13 categorii: prima categorie fiind clădirile din beton armat contemporane, și a treisprezecea fiind clădiri executate din saman, lut cu nuiile. Evaluarea riscului seismic pentru întreg masivul construit se realizează în trei etape, care includ în sine și trei forme distincte: 1) examinarea primară; 2) examinări locale ale structurii de rezistență; 3) examinarea detaliată. Etapele sunt detaliat expuse în lucrarea «Методическое пособие по паспортизации зданий и сооружений существующей застройки г.Алма-Ата и других населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах Казахской ССР. Алма-Ата, 1989.» [3]. Prima etapă, cea de examinare primară, este efectuată la toate inspectările clădirilor și edificiilor și se realizează prin studiul documentației tehnice de execuție și a unei inspectări vizuale ale clădirii, după care se dă o apreciere tehnică, aproximativă, a stării structurii de rezistență și seismicității terenului de fundare. În baza rezultatelor obținute la această etapă se stabilește categoria de rezistență seismică a clădirii (din cele 13) și se constată necesitatea executării următoarelor două etape. La etapa a doua sunt supuse clădirile ce sunt atașate categoriilor 1-4 și 7. Se examinează elementele structurii de rezistență, potențial periculoase din punct de vedere seismic, îmbinarea acestora și nodurile clădirii. La etapa a treia de inspectare, examinările detaliate sunt supuse clădirile din categoriile 4-6 și 8-10. În rezultatul examinării sunt sistematizate defectele și deteriorările elementelor portante și a nodurilor de îmbinare a elementelor date, cu ajutorul încercărilor de laborator se determină caracteristicile fizico-mecanice ale materialelor din care este executată clădirea. Se determină, de asemenea, caracteristicile dinamice ale structurii. În baza acestor rezultate se execută aprecierea calitativă și analitică a rezistenței seismice a structurii în raport de corespundere a acestora cerințelor și calculelor conform normelor de construcții antiseismice. Aprecierea calitativă a riscului seismic se realizează prin concretizarea corespunderii clădirii cerințelor constructive stipulate în normele de construcții antiseismice, se dă o apreciere finală a stării structurii de rezistență, și, în caz de necesar, se realizează calculul analitic pentru a aprecia gradul de rezistență antiseismică. În unele cazuri deosebite, aprecierea analitică este anticipată de încercările dinamice ale structurii prin metoda vibrațiilor. Aprecierea analitică se reduce la calculele de reverificare a capacității antiseismice a elementelor portante și elementelor secundare.

La aprecierea gradului de rezistență seismică aplică coeficientul K_s , calculat conform formulei $K_s = \Phi / P_s$, în care Φ factorul, ce caracterizează capacitatea portantă a structurii de facto, sau a unui element constructiv al clădirii, iar P_s factorul calculat, ce descrie capacitatea portantă necesară în conformitate cu normativul SNiP II-7-81.

În calitate de factor, ce descrie capacitatea portantă a structurii pot fi utilizați: încărcarea seismică, forțele transversale, momentele de încovoiere, deplasările și a. În final se elaborează o serie de recomandări privind consolidarea structurii de rezistență, reparația capitală a structurii, schimbul destinației clădirii.

3. Metode bazate pe investigații tehnice

Metoda impulsului. Această metodă [3] a fost elaborată pentru determinarea parametrilor antiseismici ai clădirilor în baza analizei formelor proprii de oscilație, care sunt rezultatul unor încărcări dinamice, produse de un complex de diagnosticare mobil. Încărcarea se obține prin lovituri periodice cu un corp moale, a cărui greutate constituie în

jur de 40 de kilograme. Oscilațiile sunt înregistrate de receptori tridimensionali foarte sensibili, care sunt amplasați în diferite puncte ale clădirii, atât în plan, cât și pe verticală. În baza informației de la acești receptori se pot construi epiurile deplasărilor relative cât pe înălțimea clădirii atât și în planul acesteia, se obțin caracteristicile dinamice ale structurii. Salturile în diagramele deplasărilor pe etaje indică, ca rigiditatea clădirii la nivelul dat este scăzută datorită reducerii rezistenței structurii în zona dată ori sau modificării masei inerte la același nivel.

O altă metodă similară este descrisă în lucrarea «Основы физических методов определения сейсмических воздействий» [3]. Autorul utilizează această metodă pentru determinarea funcțiilor masice - reacția sistemului la solicitare cu o funcție unitară a impulsului. În calitate de dispozitiv mecanic, ce creează un impuls momentan, se aplică un pendul, a cărei masă constă din câteva tone. Raportul între masa pendulului și masa clădirii se recomandă să fie de ordinul câtorva sute. Lovitura se consideră scurtă, momentană, dacă durata acesteia nu depășește 0,001 secunde. Această metodă este de regulă utilizată pentru a determina perioadele și decrimentii principalelor forme de oscilații ale clădirii. Autorul subliniază faptul, că pot fi utilizate oricare tip de lovituri, cu diferite obiecte, cu condiția ca aceasta să fie momentană, și valoarea ei să fie cunoscută cu exactitate.

Sunt cunoscute și o serie de metode, care au la bază solicitarea clădirii prin intermediul accelerării terenului de fundare cu ajutorul impulsurilor momentane. De exemplu, metoda ce asigură deplasarea clădirii pe direcții orizontale cu ajutorul cricurilor hidraulice cu capacități între 1000- 2000 KN cu o înlăturare imediată a forței perturbatoare [3]. O altă modalitate de scoatere din echilibru al structurii pentru a măsura caracteristicile dinamice, este metoda ruperii vergelelor de oțel calibrat, sau inele cu o rigiditate fixă metode ce permit obținerea unei sarcini între 10-50 KN. Aplicând aceste modalități, se poate de determinat așa numită funcție de trecere, adică reacția structurii la o solicitare variată (scarificată) la o accelerație permanent, egală cu o unitate.

Metoda impulsurilor create de vibrații. Este o metodă care pentru producerea impulsului utilizează complexul vibrator СДВИГ-100-50 [3]. Metodă este utilizată la explorarea clădirilor locative cu schema constructivă de tip zidărie portantă din cărămidă. Esența metodei constă în determinarea caracteristicilor dinamice ale structurii cu ajutorul înregistrării microoscilațiilor, ce sunt create de vibrator care este amplasat pe sol în apropierea peretelui transversal pentru a provoca oscilații perturbatoare în direcțiile longitudinale ale clădirii și amplasarea vibratorului pe sol lângă peretele longitudinal pentru crearea oscilațiilor pe direcții transversale. După datele aparatelor de măsurare se determină formele proprii de oscilații la diferite frecvențe. Cu ajutorul înregistrării oscilațiilor microdinamice se obțin experimental nu doar caracteristicile dinamice ale structurii (perioadele oscilațiilor proprii, decrimentii de atenuare a oscilațiilor și ordonatele formelor proprii de oscilație), ci și caracteristicile elastice ale materialelor, în cazul dat al zidăriei din cărămidă.

O metodă analogică, dar cu utilizarea utilajului modern, este descrisă în lucrarea [3]. Înregistrarea oscilațiilor clădirii se efectuează cu ajutorul a peste 280 de receptori în regim tridimensional, obținând ca rezultat spectrele medii ale funcției deplasărilor în raport cu punctul de bază și coeficienții accelerațiilor oscilațiilor clădirii.

Metoda undelor staționare [3]. Metoda se bazează pe înregistrarea detaliată a trei componente ale microoscilațiilor clădirii, ce sunt produse de surse de proveniență diferită. În calitate de utilaj tehnic servesc senzorii tridimensionali cu spectrul de înregistrare între 0.5-100Hz, care transmit informația unei stații seismologice digitale cu 16 canale de recepție. În timpul încercării se înregistrează simultan oscilațiile clădirii la acțiunea

microseismelor în punctul de bază (staționar) și un punct oarecare i . Peste o perioadă de timp senzorul situat în punctul i este amplasat în interiorul clădirii unde iarăși sunt înregistrate oscilațiile microseismice simultan cu oscilațiile punctului de bază (reper). În timpul înregistrării oscilațiilor (provenite din microseisme, de la vânt, lucrul oricărui utilaj) se formează o serie de unde subarmonici denumite unde staționare. Frecvențele acestor unde staționare corespund frecvențelor proprii de oscilație a edificiului. Forma geometrică, faza și frecvențele undelor depind nu numai de tipul construcției și dimensiunile acesteia, dar și de caracteristicile și starea de tensiune în care se află materialul din care este executată construcția. Existența anomaliilor în structură permite diagnosticarea stării fizice a structurii de rezistență.

O altă clasificare a metodelor de evaluare a vulnerabilității seismice a clădirilor și edificiilor este dată în lucrarea [48], dedicată evaluării vulnerabilității fondului construit înainte de 1977 în București. Totodată, în lucrare este expusă și conotația terminologiei de vulnerabilitate seismic, astfel vulnerabilitatea seismică a unei construcții fiind o măsură a comportării acesteia în timpul unui cutremur. Selecția metodei de estimare a vulnerabilității construcțiilor influențează toți ceilalți parametri ai analizei de risc seismic: descrierea hazardului, caracterizarea elementelor expuse, evaluarea avariilor.

Ținând cont de procedeul abordat și de informațiile utilizate pentru a estima vulnerabilitatea clădirilor, trei clase de metode sunt identificate: metode empirice, metode mixte și metode analitice. Etapele realizării unui scenariu de risc seismic și clasificarea metodelor de estimare a vulnerabilității construcțiilor sunt prezentate schematic în Figura 1.

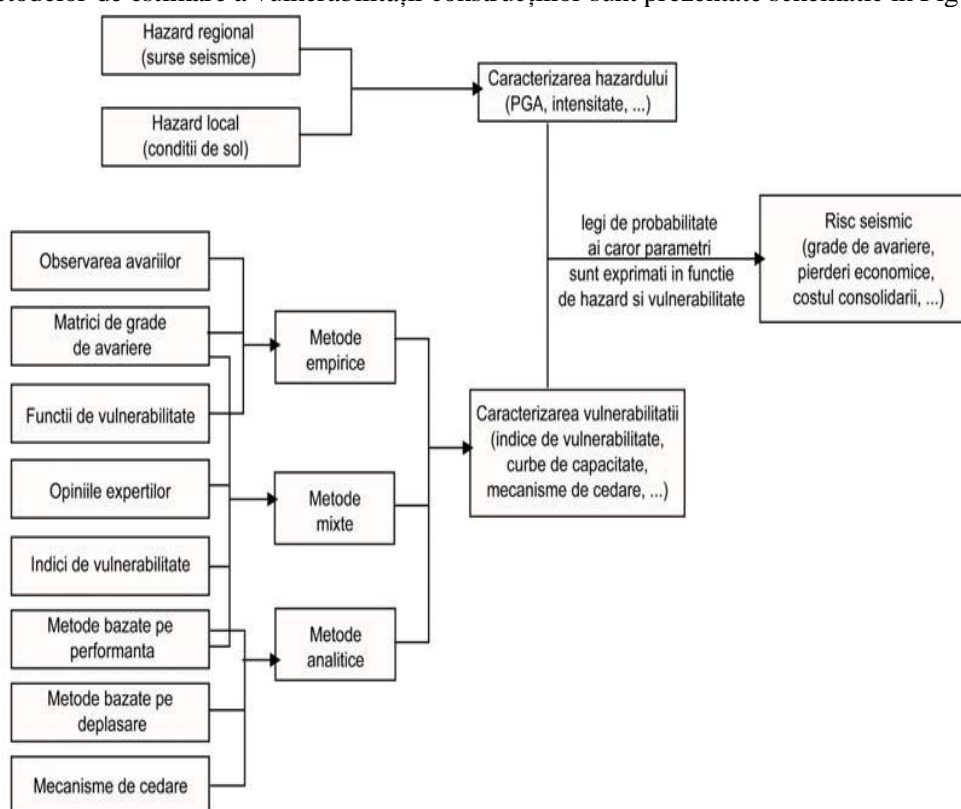


Fig.1. Etapele realizării unui scenariu de risc seismic [48].
Mai jos urmează o descriere succintă a metodelor descrise în [48].

Metode empirice

Metodele empirice de evaluare a vulnerabilității construcțiilor au la bază analiza statistică a informațiilor obținute în urma cutremurelor produse. Astfel, aceste metode sunt bazate pe evenimente reale (cutremure) și pe evaluarea consecințelor acestora asupra construcțiilor ce au fost afectate de evenimentele respective. Metodele empirice de evaluare a vulnerabilității construcțiilor pot fi împărțite în două categorii, ambele bazându-se pe relația „directă” dintre avariile construcțiilor și mișcarea solului, și anume: 1) matrice de avariere probabilă, denumite în sursele de specialitate matrice de avariere (Damage Probability Matrix-*DPM*) și 2) funcții de vulnerabilitate. Matricea de avariere exprimă probabilitatea condiționată de a obține o anumită stare de avariere j datorată unei mișcări a solului de intensitate i , $P[D=j|i]$ Funcția de vulnerabilitate exprimă, de manieră continuă, probabilitatea depășirii unui anumit grad de avarie pentru o anumită intensitate a cutremurului.

Metodele empirice ce utilizează matrice de avariere probabila (DPM) Primele analize statistice ale avariilor clădirilor produse în urma cutremurelor au fost realizate de Withman în 1973 [48]. Folosind date obținute în urma cutremurului produs în San Fernando la 9 februarie 1971 Withman a creat primele matrice de avariere probabila (*DPM*) pentru diferite tipuri de structuri. Matricea de avariere (*DPM*) a clădirilor a devenit una dintre cele mai răspândite forme de reprezentare a distribuției probabile a avariilor produse în urma cutremurelor.

Metodele empirice ce utilizează funcții de vulnerabilitate continue Pentru a depăși problemele ce țin de procedeele bazate pe matrice de avariere (în special faptul ca intensitatea nu este un parametru continuu) au fost elaborate metode empirice, ce utilizează funcții de vulnerabilitate continue. În 1992 Spence și Coburn [48] au propus o nouă metodă de estimare a vulnerabilității, bazată pe procesarea statistică a datelor obținute în urma diferitor cutremure din Europa și utilizează un nou parametru al mișcării solului *PSI* (Parameterless Scale of Intensity). Alte studii (Rossetto et al., 2003 [48]; Scawthorn et al., 1981 [48]; Shinozuka et al., 1997 [48]) propun utilizarea accelerației sau deplasării spectrale pentru construirea funcțiilor empirice de vulnerabilitate.

Metode mixte

Metodele mixte de evaluare a vulnerabilității construcțiilor combină diferite procedee: calcule analitice, metode bazate pe opiniile experților, curbe de vulnerabilitate, matrice de avariere, calcule simplificate în urma cărora sunt atribuite puncte (sau indici) deficiențelor structurale ale clădirilor, etc. Cele mai cunoscute metode mixte de evaluare a vulnerabilității structurilor, ce utilizează indici de vulnerabilitate sunt: *ATC 13* (1987) [18], *ATC 21* (1988) [19], *GNDT* (1994) [42]. Metodele *ATC 21*, *GNDT* și *RISK-UE* utilizează aceiași parametri pentru caracterizarea structurilor și comportamentul acestora în timpul cutremurelor, diferența între aceste trei procedee fiind determinată de modul de calcul al indicelui de vulnerabilitate global.

Datele minime necesare realizării unui scenariu de risc seismic utilizând aceste metodologii sunt fotografiile aeriene, precum și informațiile și statisticile referitoare la construcțiile din zona de studiu, la structura demografică și social-economică a populației. Aceste date „brute” sunt tratate din punct de vedere ingineresc și adaptate la cerințele metodelor de evaluare a vulnerabilității utilizate.

Metode analitice

Metodele analitice de evaluare a vulnerabilității seismice sunt metode științifice, ce dezvoltă și aplică procedee și utilizează înregistrări instrumentale în scopul obținerii de informații cu privire la comportarea unei construcții sau a elementelor acesteia în timpul unui cutremur. Metodele de evaluare a vulnerabilității bazate pe performanță și deplasare sunt procedeele analitice cele mai răspândite la momentul de față.

Tendența actuală în domeniul estimării vulnerabilității construcțiilor este de a utiliza modele mecanice de calcul. Din punctul de vedere al procedeuului utilizat aceste metode pot fi grupate în cinci categorii:

- curbe de vulnerabilitate și matrice de avariere calculate analitic;
- curbe de vulnerabilitate și matrice de avariere mixte;
- metode de evaluare a vulnerabilității bazate pe mecanisme de prăbușire;
- metoda de evaluare a vulnerabilității bazate pe performanță;
- metode de evaluare a vulnerabilității bazate pe deplasare.

Curbe de vulnerabilitate și matrice de avariere calculate analitic. În mod tradițional curbele de vulnerabilitate și matricele de avariere sunt generate în urma analizelor statistice ale informațiilor colectate în urma misiunilor de teren post-seismice. Metode recente de evaluare a vulnerabilității construcțiilor propun crearea de astfel de curbe: metode bazate pe performanță (Freeman et al., 1975 [39,40]), Metoda Spectrului de Capacitate -CSM (spectru supra-amortizat) (ATC, 1982[10]), Metoda Bazată Direct pe Deplasare-DDBD (Calvi, 1999 [22]), substituirea spectrelor supra-amortizate cu spectre inelastice (Chopra și Goel, 1999a,b [24], [25]; Fajfar, 1998 [35]), Considerarea modurilor superioare de vibrație în calculul răspunsului structurii (Paret et al, 1996 [48]). Utilizarea înregistrărilor seismice pentru identificarea proprietăților «push-over» ale structurii (Gilmartin et al., 1998 [48]), îmbunătățiri și studii având la bază CSM. Îmbunătățiri și studii având la bază DDBD pentru construcții din beton armat: metoda de evaluare a pierderilor produse de cutremure bazată pe deplasare DBELA (articole: Pinho et al., 2002 [48]; Crowley et al., 2004 [30]). Pentru construcții din zidărie: metoda de evaluare a riscului seismic bazată pe mecanisme de cedare MeBaSe (articole: Restrepo-Vélez et al., 2004 [48]; Modena et al., 2005 [48]), metode bazate pe deplasare (articol inițiator: Priestley et al., 1996 [48]), metode bazate pe performanță și deplasare (articol inițiator: Aschheim, 1999 [15]). În general, curbele de vulnerabilitate și matricele de avariere, create cu ajutorul programelor de calcul nu înlocuiesc, ci completează curbele de vulnerabilitate empirice. Pentru anumite nivele de intensitate seismică curbele sunt elaborate folosind informațiile existente, obținute în urma cutremurelor trecute, iar pentru nivelele de intensitate seismică, pentru care nu există date observaționale, sunt utilizate rezultatele analizelor dinamice neliniare corespunzătoare fiecărei clase de construcții.

Metode de evaluare a vulnerabilității bazate pe mecanisme de prăbușire. Mecanismul de cedare este determinat în baza considerațiilor mecanice și este evaluat prin intermediul unei analize statice echivalente. Aceste metode sunt aplicate în special construcțiilor din zidărie. Metodele *VULNUS* (Bernardini et al. 1990[48];), dezvoltate la Universitatea din Pavia și *FaMIVE* (D'Ayala și Speranza, 2003[32]) sunt cele mai cunoscute tehnici de evaluare a vulnerabilității construcțiilor, ce se bazează pe identificarea mecanismului de prăbușire pentru structurile din zidărie și, respectiv, pentru centrele istorice.

Metoda de evaluare a vulnerabilității bazate pe performanță HAZUS. Cea mai cunoscută metodă de evaluare a vulnerabilității construcțiilor, bazată pe performanță este HAZUS (1999) [44]. Această metodologie a fost dezvoltată în scopul aplicării ei în SUA, dar de fapt, ea este utilizată de numeroase echipe de cercetători pentru evaluarea riscului seismic în diferite regiuni ale globului (Spence et al., 2003 [48]).

De fapt, metodologia HAZUS reprezintă generalizarea Metodei Spectrului de capacitate (Freeman et al., 1975 [39]), (ATC 10, 1982 [14]), (Freeman et al., 1984 [40]; Army, 1986 [48]), creată pentru evaluarea vulnerabilității unei singure construcții, și aplicarea acesteia unui grup de construcții, având aceleași caracteristici din punct de vedere al sistemului structural. Metoda are la bază patru concepte fundamentale : curba de capacitate, spectrul solicitării seismice, punctul de performanță și curbele de fragilitate.

Metode de evaluare a vulnerabilității bazate pe deplasare. Primul pas în dezvoltarea metodelor bazate pe deplasare a fost realizat de Calvi (1999) [22]. Acesta propune o metodă ce estimează capacitatea de deplasare a structurii corespunzătoare diferitelor stadii limită de avariere definite. Metoda are la bază principiile Metodei în Deplasare, propusă de Priestley et al., 1996 [48] ce consideră diferite mecanisme de cedare și profile de deplasare ale structurii „reale” cu mai multe GLD ce este modelată prin intermediul unui sistem echivalent cu 1GLD.

Metoda Spectrului de capacitate si metode derivate

Metoda Spectrului de capacitate (ATC 40) .Metoda Spectrului de capacitate a fost introdusă în anii 70, fiind utilizată ca metodă de evaluare rapidă (Freeman et al, 1975 [40]). La începutul anilor 80, metoda spectrului de capacitate a fost utilizată în scopul determinării unei relații între mișcarea seismică și performanța construcțiilor (ATC 10, 1982 [17]). Ulterior, metoda a fost recomandată de a fi utilizată în calitate de procedee de verificare a proiectării, în manualul „Ghid de proiectare seismică pentru construcțiile importante” (Freeman et al., 1984 [39]; Army, 1986 [48]). Procedeele descrise în acest ghid presupune compararea capacității construcției (exprimată sub forma curbei push-over) cu sarcina seismică ce solicită structura în timpul cutremurului (exprimată sub forma spectrului de răspuns). Intersecția dintre cele două curbe aproximează răspunsul structurii. Pentru a ține cont de comportarea neliniară a elementelor structurii, spectrul de răspuns elastic este supra-amortizat.

Pe parcurs, au fost efectuate diferite modificări ale metodei. Primele transformări aduse metodei țin de procedeele iterative de identificare a punctului „exact”, în care curba de capacitate intersectează spectrul având nivelul „corect” de amortizare. Însă modificarea, ce a făcut ca Metoda Spectrului de capacitate să fie mai accesibilă constă în substituirea reprezentării spectrului, în mod tradițional accelerație spectrală (S_a) – perioadă (T), cu reprezentarea în format accelerație spectrală – deplasare spectrală (S_d) (Mahaney et al, 1993[48]).

Trei ani mai târziu, în 1996 Applied Technological Council (ATC) publică raportul ATC 40 [20], Evaluarea Seismică și Consolidarea Construcțiilor din Beton Armat”. Acest raport reglementează aplicarea Metodei Spectrului de capacitate în scopul evaluării vulnerabilității construcțiilor din beton armat.

În general, două mari aproximări sunt reproșate Metodei Spectrului de capacitate:

1. Distribuția forțelor laterale este considerată fixă și se bazează numai pe modul fundamental de vibrație al sistemului elastic. Ulterior, diferite metode au fost propuse pentru a ține cont în analiza modurilor superioare de vibrație.
2. Deformația indusă de cutremur sistemului inelastic cu un grad de libertate este estimată printr-o metodă iterativă, ce calculează o serie de sisteme echivalent elastice cu un grad de libertate.

Metoda N2 propusă de Fajfar (1998) [36] combină analiza „pushover” a unui model cu mai multe grade de libertate (nGLD) cu analiza spectrală a unui sistem echivalent cu un grad de libertate (1GLD), răspunzând astfel celei de-a doua aproximare a Metodei Spectrului de capacitate.

Metoda diagramă solicitare-capacitate îmbunătățită, propusă de Chopra și Goel, 1999a,b [24] [25], diferă de metoda propusă de *ATC 40* [20] dintr-un singur punct de vedere fundamental: solicitarea este determinată în urma analizei unui sistem neliniar, în comparație cu *ATC 40* (în care solicitarea este estimată în urma analizei unei serii de sisteme echivalent liniare) Deasemenea, Chopra și Goel au propus un procedeu de analiza diferit pentru a ține cont de modurile superioare de vibrație a clădirii.

Concluzii

1. Metodele bazate pe opiniile experților sunt larg răspândite în lucrările de evaluare a riscului seismic. Ele pot fi calificate ca semi-cantitative, atunci când se respect câteva condiții:

- 1) existența unei forme concrete de documentare a experților (anchete, sondaj, o formă analitică, sub forma unui raport);
- 2) existența unor modalități reglementate de conlucrare între experți (schimb liber de informații, schimb reglementat de informații, experți izolați);
- 3) existența criteriilor, ce trebuie să le satisfacă un expert pregătit. De menționat, ca prelucrarea informației, colectate de experți se face în baza unor metode statistice, care asigură nu numai valorile statistice ale rezultatelor ca atare, dar și gradul de concordanță a opiniilor expuse de experți (cu cât gradul de concordanță este mai mare, cu atât rezultatele obținute sunt mai veridice).

În condițiile reale, de regulă, expertizarea construcției se face de un grup de 2-3 oameni în frunte cu o persoană cu calificarea de expert; acest fapt condiționează imposibilitatea respectării celor trei condiții, expuse mai sus, și ca rezultat, apariția subiectivității. În astfel de cazuri, metodele date se reduc, de fapt, de la metode semi-cantitative la metode calitative.

Cu toate că metodele bazate pe opiniile experților sunt cele mai ieftine și cele mai des utilizate în lucrări de evaluare a riscului seismic, exactitatea estimării valorii reale a seismorezistenței construcțiilor cu aplicarea lor deseori este destul de joasă.

2. Metodele analitice se caracterizează prin acuratețe și precizie. Neajunsul esențial al acestor metode consta în faptul, că analiza rezistenței seismice a construcțiilor se efectuează la nivelul forțelor seismice de calcul, dar nu a forțelor seismice reale, pe care le suportă structura în timpul unui seism. La calcul sunt utilizate modele staționare liniar elastice, care corespund solicitării structurii la un nivel macroseismic, nivel la care din start se impune lucrul structurii doar în domeniul elastic, ceea ce nu corespunde situației reale. Un mare avantaj al metodologiilor date îl constituie faptul că ele țin cont de gradul

de uzură fizică a elementelor componente ale clădirii. Aceasta se realizează prin analiza capacității portante a structurii cu utilizarea caracteristicilor fizico-mecanice reale ale materialelor construcției. Tot o dată aceste metode prevăd un volum foarte mare de lucru.

3. Metodele bazate pe investigații tehnice permit depistarea și localizarea unor anomalii în structurile de rezistență a clădirii, dar tot odată ele nu furnizează informații privind cauzele acesteia, din care motiv aceste metode necesită o completare prin executarea unor investigații ingineresti ale clădirii. Această afirmație este valabilă pentru toate metodele din această grupă, indiferent de specificul metodologic al fiecăreia și metoda de generare a excitațiilor oscilațiilor. Una din metodele cu o perspectivă mai înaltă din această grupă, este metoda undelor staționare. Metodele tradiționale din această grupă oferă o înregistrare a oscilațiilor microdinamice ale structurii într-un regim staționar, pe când prin metoda undelor staționare această înregistrare are forma tridimensională în spațiu și timp.

Bibliografie

1. Авиром Л.С. Надежность конструкций сборных зданий и сооружений М.: Стройиздат, 1971. 216с.
2. Айзенберг Я.М., Хачиян Э.Е., Габричидзе Г.К., Гудков Б.П. и др. Международные строительные нормы СНГ. Строительство в сейсмических районах (проект) 2002 г. //Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, 2002, № 3, с.27-53.
3. Бержинская Л.П., Бержинский Ю.А. Методы паспортизации зданий в сейсмических районах // Вопросы инженерной сейсмологии. Москва: ИФЗ РАН. Т.36.№ 2. 2009. С.57-69
4. Бойко М.Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий. М.: Стройиздат, 1975. 334 с.
5. ВСН 53-86(р) Правила оценки физического износа жилых зданий// М.: Прейскурантиздат, 1988.
6. Егупов К.В. Проблемы проектирования на сейсмостойкость протяженных и несимметричных сооружений. //Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, 2000, № 1, с.23-29.
7. Крамер (Н. Cramer) Mathematical methods of statistics, Princeton University Press (рус. перевод: Математические методы статистики).М.: Изд-во иностр. лит., 1948. 373 с.
8. Макаров И.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А., Соколов В.Б. Теория выбора и принятия решений: Уч. пособие. М.: Наука, 1982. 143с.
9. Немчинов Ю.И. Особенности строительства в сейсмических районах Украины и совершенствование норм проектирования зданий и сооружений. IV науково-технічна конференція “Будівництво в сейсмічних районах України”. Доповіді, 18-21 травня 1999 р., с.10-20
10. Отчет о НИР «Оценка технического состояния наружных стен из газозолобетона серии 1-335КС с учетом физического износа» / ИЗК СО РАН. Иркутск: ИрГТУ, 2005. 82с.
11. Ройтман А.Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий. М.: Стройиздат, 1985. 175с.

12. СНИП II -7-81. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. Госстрой СССР., М.: АПП ЦИТП, 1981. - 50 с.
13. Alkaz V., A. Zaicenco, E. Isicko. Seismic Microzonation of the Territory of Kishinau City : A Tool for Preventing the Seismic Risk , 2008, NATO Science for Peace and Security Series, C: Environmental Security, Springer, 2008, p.117-132. 9.
14. Arion C, (2003). Zonarea seismică pentru condiții de teren și sursele seismice specifice României, Teza de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, 234 p.
15. Aschheim, M. (1999). "Yield Point Spectra: A Simple Alternative to the Capacity Spectrum Method", Proceedings of 1999 SEAOC Convention, Reno, Nevada, U.S.A. (preprint).
16. Bogdan-Felix Apostol PhD Thesis Research Studies on Non-Linear Effects in Seismic Risk Assessing and Mitigation, Magurele-Bucharest 2005.
17. ATC 10, (1982). "An Investigation of the Correlation between Earthquake Ground Motion and Building Performance", Report ATC-10, Applied Technology Council, Redwood City, California, U.S.A.
18. ATC 13, (1987). "Earthquake Damage Evaluation Data for Probable Maximum Loss Studies of California Buildings", Applied Technology Council, Redwood City, California.
19. ATC 21, (1988). "Rapid Visual Screening for Building for Potential Seismic Hazard: a Handbook", Applied Technology Council, Redwood City, California.
20. ATC 40, (1996). "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings", Applied Technology Council, Redwood City, California.
21. ATC 55, (2002). "Summary of evaluation of current nonlinear static procedures-SDOF studies", Report ATC-55, Applied Technology Council, Redwood City, California.
22. Calvi G. M., (1999). "A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings", Journal of Earthquake Engineering, Vol.3, pp. 411-438.
23. Chopra A., (2001). „Dynamics of structures”, Theory and Applications to Earthquake Engineering, 2nd edition.
24. Chopra A., Goel R., (1999b). „Capacity-demand diagram method for estimating seismic deformation of inelastic structures: SDF systems”, Report No. PEER-1999/02, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, 67p.
25. Chopra, A.K. and Goel, R.K. (1999a). „Capacity-Demand-Diagram Methods Based on Inelastic Design Spectrum”, Earthquake Spectra, Vol. 15, No. 4, pp. 637-656.
26. Comartin C., (2002). „A progress report on ATC 55: Evaluation and improvement of inelastic seismic analysis procedures” (fall 2002) (www.atcouncil.org).
27. Cosenza, E., G. Manfredi, and R. Ramasco (1993). "The use of damage functionals in earthquake engineering: A comparison between different methods," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 22, pp.855-868.
28. Crainic L., Stanciulescu I., (2000). „Calcul postelastique des structures”, ISBN:973-685-191-5, MatrixRom.
29. Crainic L., Stanescu D., Zybczynski A., (2003). „Innovative Solutions For Structural Design Of A Supermarket”, International Conference Constructions, Cluj-Napoca.
30. Crowley, H., Pinho, R. and Bommer, J.J. (2004). "A Probabilistic Displacement-Based Vulnerability Assessment Procedure for Earthquake Loss Estimation", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 2, No. 2, pp. 173-219.
31. CSI, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.

32. D'Ayala, D. and Speranza, E. (2002). "An Integrated Procedure for the Assessment of Seismic Vulnerability of Historic Buildings", Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, U.K., Paper No. 561 (on CD). 59
33. Demetriu, S., Aldea, A., (2006). "Recorded Seismic Response of an Instrumented High-Rise Reinforced-Concrete Building in Bucharest", 1st ECEES First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper Number: 777, 10p., CD-ROM.
34. Dubina, D., (2004). „Ductility and Seismic Performance of Thin-Walled Cold-Formed Steel Structures”, Steel Structures, Vol. 4, 209-222p.
35. Fajfar P., (2000b). „A practical nonlinear method for seismic performance evaluation”, American Society of Civil Engineers, vol 103, 8p.
36. Fajfar, P. (1998). "Capacity Spectrum Method Based on Inelastic Demand Spectra", Report EE-3/98, IKPIR, Ljubljana, Slovenia.
37. FEMA (1999). "HAZUS99 Technical Manual", Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, U.S.A.
38. FEMA 356 (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, FEMA, Washington.
39. Freeman, S.A., Nicoletti, J.P. and Matsumura, G., (1984). „Seismic Design Guidelines for Essential Buildings”, Proceedings of 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, California, U.S.A.
40. Freeman, S.A., Nicoletti, J.P. and Tyrell, J.V., (1975). „Evaluations of Existing Buildings for Seismic Risk - A Case Study of Puget Sound Naval Shipyard, Bremerton, Washington”, Proceedings of U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, U.S.A., pp. 113-122.
41. Galasco, A., Lagomarsino, S. and Penna, A. (2002). „TREMURI Program: Seismic Analyser of 3D Masonry Buildings”, University of Genoa.
42. GNDT, (1994). Scheda di esposizione e vulnerabilità e di rilevamento danni di primo livello e secondo livello (muratura e cemento armato). Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma (in italiana).
43. Gulkan P. and Sozen M. A., (1974). „Inelastic responses of reinforced concrete structures to earthquake motions”, Journal of the American Concrete Institute, 71:604–610.
44. HAZUS (1999). „Earthquake Loss Estimation Methodology – Tech
45. Iemura, H. and Pradono, M. H. (2005): Strongly Nonlinear Hysteretic Restoring Force using Variable Dampers,” Proc. ISEE Kobe 2005, Vol.2, D81-D90.
46. Lungu D., Aldea A., Arion C., 2000. Evaluarea riscului seismic pentru fondul construit din Bucuresti, Gazeta AICR, Anul XI, nr.41-42.
47. Mustafa Erdik (2010) Rapid earthquake hazard and loss assessment for Euro-Mediterranean region Journal: Acta Geophysica, vol. 58, no. 5, pp. 855-892.
48. Negulescu E (2010) Evaluarea vulnerabilității fondului construit înainte de 1977, Teza de doctorat, Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti, 234 p.
49. Wai-Fah Chen and Charles Scawthorn. Earthquake Engineering Handbook (New Directions in Civil Engineering) (Sep 27, 2002)

Primit la redacție – 6 august 2012