

Получена: 10.02.2017 г.

Приета: 04.05.2017 г.

ЕМПИРИЧЕН ПОДХОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА УЯЗВИМОСТТА НА СГРАДНИЯ ФОНД КАТО ЧАСТ ОТ ОБЩА МЕТОДИКА ЗА КАРТОГРАФИРАНЕ НА СЕИЗМИЧНИЯ РИСК

Д. Стефанов¹, Е. Васева²

Ключови думи: сеизмичен риск, уязвимост на сграден фонд, повреди, Европейската макросеизмична скала

РЕЗЮМЕ

В представения доклад се разглежда един сравнително нов подход за формиране на вероятностната матрица на повреди на базата на Европейската макросеизмична скала (ЕМС-98) с използването на индекс на уязвимост V_I , който представя принадлежността на един тип сграда към даден клас на уязвимост и средно ниво на повреди μ_D , определено на база интензивност I и индекс на уязвимост V_I за всеки тип сграда.

Разработената методология е приложена за дефиниране на матриците на повреди за въведените шест класа на уязвимост, в които са разпределени сградите с различните типове конструктивни системи.

1. Въведение

Зависимостите за емпиричната сеизмична уязвимост се отнасят до оценки, основани на статистически данни за повреди от минали земетресения. Статистическите резултати се представят под форма на вероятностна матрица на повредите (ВМП), която изразява вероятността сграда от даден клас на уязвимост да понесе определено ниво на повреди, като резултат от конкретна сеизмична интензивност. Традиционно емпиричните изследвания за оценка на сеизмичните загуби се извършват с помощта на скалите за

¹ Димитър Стефанов, доц. д-р инж., НИГГГ-БАН, e-mail: dstefanov@geophys.bas.bg

² Елена Васева, доц. д-р инж., НИГГГ-БАН, e-mail: evasseva@yahoo.com

интензивност като модифицираната скала на Меркалий или Европейската макросейзична скала.

Матрици на уязвимост на базата на интензивности съществуват в различни страни по света и за различни класификации на сградите. Интензивността е явен избор поради директна връзка с повредите при различните класове сгради, но нейното удобство е в известна степен ограничено поради трудности за предсказване на интензивностите за бъдещи земетресения, като се отчита и реагирането на площадката, изложеността на съвременните конструктивни системи на сгради и необяснимите разлики между повреди и загуби. Съществуват множество изследвания върху зависимостите за емпиричната уязвимост [1, 2, 3]. В предлаганата методика се използва подход и изследвания, проведени в рамките на проекта RISK-UE (2004) [4].

2. Теоретична постановка на процедура за оценка на уязвимостта на сградния фонд

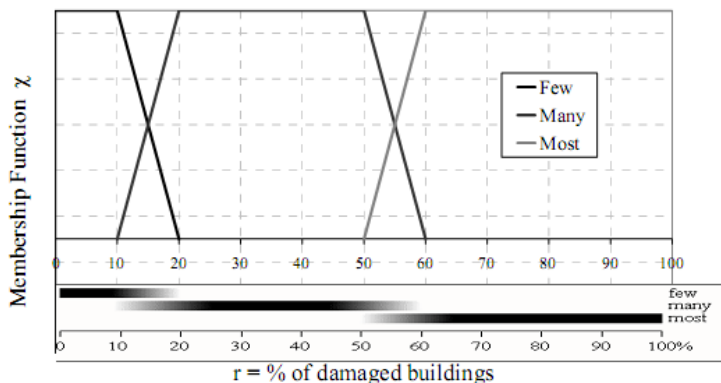
Идеята, която стои в основата на тази методика е следната: тъй като целта на Макросейзичната скала е да се получи оценка за силата на земетресението от наблюдаваните повреди, понесени от сградите, самата скала по подобен начин може да се ползва като модел на уязвимост за прогностични цели, за да покаже вероятното разпределение на повредите за дадена типология сгради, при определена интензивност. Както е известно EMC-98 дава матрица на повредите, която съдържа вероятността сградите да принадлежат към някакъв клас на уязвимост, претърпявайки някакво ниво на повреда при дадена интензивност. В матрицата на повредите за различните класове на уязвимост са дадени неясни качествени дефиниции като малко ~ 5%, много ~ 35% и най-много ~ 60%. Ето защо тези матрици на повреди могат само да осигурят неясен и непълен модел на уязвимостта, тъй като вероятностите за повреди са представени чрез диапазона на три застъпващи се процента в доста тесни граници.

В изследването на Giovinazzi и Lagomarsino [1], отразено в проекта RISK-UE, непълнотата е решена чрез въвеждане на бета разпределение за моделиране на вариацията на степента на повреда. За решаване на проблема с неяснотата на качествените дефиниции (малко, много, най-много) е използвана теорията на размитите множества.

Тази теория се базира на интерпретиране на качествени дефиниции чрез функциите на принадлежност χ . Обхватът на процентите на повредени сгради, означен с качествени изрази в EMC-98 (фиг. 5.3-1) се състои от дефинитивни: малко – по-малко от 10%; много – от 20% до 50% и най-много – повече от 60% и застъпващи се части (между 10% и 20% може да се дефинира като малко и много, застъпване между 50% и 60%, и двете много и най-много). Следователно в това изследване функциите за принадлежност (χ) са описани така, че $\chi = 1$ се приписва на достоверни обхвати и $0 < \chi < 1$ се приписва на застъпващи, възможни обхвати (фиг. 1). Използвайки тези функции и бета разпределение, разпределенията на средните повреди, повредите в достоверна и възможна горна и долна граница, са получени при различни нива на интензивност. Получените резултати показват, че има достоверна област за всеки клас на уязвимост и междинни, възможни области за съседни класове.

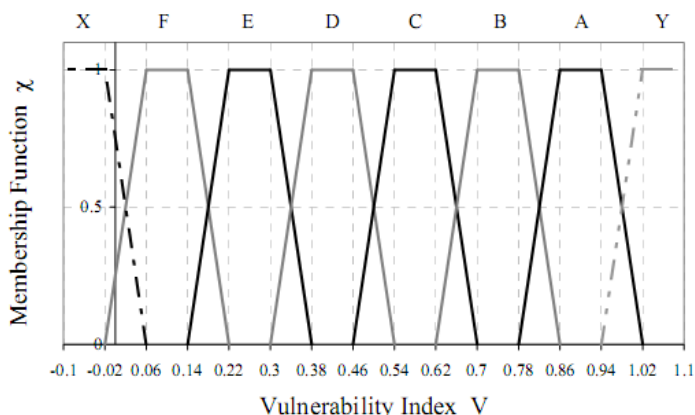
Друга важна особеност при прилагане на EMC-98 скалата е фактът, че повредите на сградите от някакъв клас на уязвимост поради земетресение с някаква интензивност, са същите, причинени от следващата степен на интензивност на сградите от следващия клас на уязвимост. Това разбира се, произлиза от оригиналната дефиниция на EMC-98 скалата.

На базата на анализи е въведен един параметър, обозначен като индекс на уязвимост V_I , който представлява принадлежността на всеки един тип сграда към даден клас на уязвимост от А до F. За удобство е въведен обхват на този индекс $V_I = 0 \div 1$, позволяващ да бъде покрита цялата област на възможно поведение, стойности близки до 1 са тези за най-уязвими сгради и стойност близо до 0 са тези, които са представители на конструкции, проектирани с най-съвременни норми със съответни високи класове на дуктилност.



Фиг. 1. Функции на принадлежност за качествено описание на повредите [1]

Свързаните с индекса на уязвимост функции на принадлежност са дефинирани така, че те да имат достоверен обхват $\chi = 1$ и възможни линейни обхвати, характерни за прехода между два съседни класа. Всеки клас на уязвимост се дефинира чрез 5 различни стойности, най-възможната стойност V_I , границите (V_I , $V_I +$) на достоверния обхват и границите (V_{min} , V_{max}) на възможния, които са дефинирани като центроида на функцията на принадлежност, съответно границите на $\chi = 1$ обхвата и границите на $\chi = 0$ обхвата – фиг. 2. Това дава възможност да се формулира аналитичен израз за връзката между средно ниво на повреди μ_D (средна стойност на дискретно бета разпределение), интензивност I и индекс на уязвимост V_I , позволяващ да се определи разпределението на повредите за преобладаващия индекс на уязвимост V_I , който е известен в интересуващата ни област.



Фиг. 2. Индекс на уязвимост V_I и функции на принадлежност χ за различни класове на уязвимост от EMS 98 [1]

Тъй като първоначалната цел на проведеното изследване в проекта RISK-UE е да се определят зависимостите на уязвимост за различните типове сгради в Европа, то индексите на уязвимост са изчислени, като е използвана връзката между типа сгради и класа на уязвимост, така като е описано в ЕМС-98. Функциите на принадлежност за всеки тип сграда са определени като линейна комбинация от функциите на принадлежност за класа на уязвимост, в зависимост от степента на тяхната принадлежност: най-желаният клас се избира като 100% принадлежност, възможният клас като 60% принадлежност и нежеланият клас като 20% принадлежност.

3. Основни термини в предлаганата методика, свързани с определяне на уязвимостта на конструктивните системи

За по-добро разбиране на предлаганата методика са описани някои от основните термини, свързани с определяне на уязвимостта на сградите.

- Повреда

В съвременните макросейсмични скали повредите се представят в дискретна форма чрез нива на повреди НП (k), ($k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$), които могат да се наблюдават при земетресение. В случая на Европейската макросейсмична скала ЕМС-98, която е в основата на предлаганата методика, пет нива на повреди са приети и са представени в табл. 2.

Таблица 2. Приети нива на повреди в настоящата методика

Ниво на повреди	Описание
НП 0	няма
НП 1	леки
НП 2	средни
НП 3	тежки
НП 4	много тежки
НП 5	разрушение

- Средно ниво на повреди (μ_D)

В случай, че се разглежда група от сгради, земетресението с дадена интензивност може да причини различни нива на повреди във всяка една от сградите, поради специфичното им сейсмично поведение.

Чрез разглеждане на хистограмата от нива на повреди, настъпили в група от сгради, е възможно да се дефинира като представителен параметър **средното ниво на повреда** (μ_D),

$$\mu_D = \sum_{k=0}^5 p_k k \quad 0 < \mu_D < 5, \quad (1)$$

където p_k е вероятността за съществуване на ниво на повреда D_k ($k = 0 \div 5$) в групата от сгради;

μ_D представлява средно ниво на повредата при дискретно разпределение на повредите и е в обхвата от 0 до 5 и се дефинира като средна повреда, представяща абсцисна ос на хистограмата на повреди.

Трябва да се отбележи, че средното ниво на повреда μ_D е постоянен параметър, независимо че нивата на повреди представят разпределението на повредите в групата от сгради.

- Индекс на уязвимост (V_I)

Индексът на уязвимост (V_I), както бе споменато по-горе, е въведен да представя и количествено да определи принадлежността на сградата към някакъв клас на уязвимост. Стойностите на индекса на уязвимост са произволни в обхвата от **0** (най-малко уязвима сграда) до **1** (най-силно уязвима сграда), тъй като те са само количествени стойности, оценяващи по удобен начин поведението на сградата. Този индекс може да бъде предписан на всяка сграда на основата на наличната информация за типологията и други конструктивни характеристики.

Сгради с конструктивни системи с подобно сеизмично поведение имат еднакъв индекс на уязвимост. Към V_I може да се добави модификатор, отразяващ възможна промяна в сеизмичното поведение:

$$V_I = V_{IBTM} + \Delta V_R + \Delta V_m, \quad (2)$$

където V_{IBTM} е индекс на уязвимост за съответния клас на уязвимост (тип конструктивна система);

ΔV_R – регионален модификатор, с който се вземат под внимание характеристики на региона или периода на построяване;

$$\Delta V_m = \Sigma V_m;$$

ΔV_m – параметри за изменение на сеизмичното поведение, отчитащи ниво на поддръжане, етажност, нерегулярности в план и височина, надстроени етажи, усилвания, реконструкции, нива на фундиране и др.

Методиката включва дефиниране на класовете на уязвимост, индексите на уязвимост и разработването на вероятностните матрици на повреди (ВМП) за матрицата на типологиите сгради (МТС). Ако се вземе под внимание качеството и количеството на наличните данни за анализ на уязвимостта, различни модифициращи схеми за индекса на уязвимост биха могли да се използват. Използването на индекса на уязвимост е свързано с повече информация за сградния фонд и за по-прецизно определяне на повредите.

- Класове на уязвимост съгласно EMS-98

В класовете на уязвимост са групирани доста различни типове сгради, които се характеризират с подобно сеизмично поведение.

В EMS-98 [5] са дефинирани 6 класа на уязвимост, означени от **A** до **F** и подредени в намаляващ уязвимостта ред. Всеки тип сграда се характеризира с преобладаващ, най-вероятен клас на уязвимост, за който съществува зависимост между сеизмичната интензивност и претърпяната повреда. Но, като се отчитат конструктивните характеристики на сградата, района в който се намира и други параметри, може да се дефинира и друг възможен и/или по-малко вероятен клас на уязвимост за един и същи тип сграда.

Например ст.б. сграда, строена преди 1987 г. (т.е. проектирана по нормите, действащи в този период), би трябвало да бъде в клас D, но ако същият тип сграда е строена в периода след 1987 – възможният клас на уязвимост е E.

- **Криви на уязвимост**

Предлаганата методика за анализ на уязвимостта се основава на дефиниране на кривите на уязвимост, които свързват хазарта, изразен чрез макросейзмична интензивност I , с повредата, изразена чрез средно ниво на повреда μ_d . Групата от криви на уязвимост, които представляват поведението на всяка една сграда, зависи само от един параметър и това е индексът на уязвимост V_I .

- **Вероятностна матрица на повредите (ВМП) за класовете на уязвимост в скалата EMS-98**

Вероятностните матрици на повредите определят вероятността от проявата на някакво ниво на повреда.

Известен опит в статистическата оценка на повредите след голямо земетресение в Европа (1980 Irpinia-Italy) показва, че разпределението на нивата на повреди за група от почти хомогенни сгради е добре представено чрез биномиално разпределение. То зависи само от един параметър, средно ниво на повреди μ_d , и се определя със зависимостта:

$$p_k = \frac{5!}{k!(5-k)!} \left(\frac{\mu_d}{5}\right)^k \left(1 - \frac{\mu_d}{5}\right)^{5-k} \quad 0 < \mu_d < 5, \quad (3)$$

където p_k е вероятност от настъпване на нива на повреди D_k ($k = 0 \div 5$);

! – символът ! означава коефициент – факториел;

μ_d е средно ниво на повреда.

4. Дефиниране на вероятностната матрица на повреди за класовете на уязвимост от EMS-98

За да се формира вероятностната матрица на повреди, е възможно да се използва вероятностно разпределение на нивата на повреди (дискретно разпределение).

Биномиалното разпределение е използвано успешно за статистически анализ на събраните данни след земетресение в Италия. Този метод притежава едно ясно, просто разпределение, което зависи само от един параметър (μ_d).

Дисперсията на биномиалното разпределение е прекалено висока в случаите, когато има подробна класификация на сградите. Това може да доведе до надценяване на броя на сградите, понасящи сериозни повреди в случай на много ниски стойности на средното ниво на повредите.

Разпределение, което изглежда, че отговаря по-добре на специфичните изисквания в случай на по-подробна класификация на сградите, е „бета“ разпределението.

„Бета“ разпределението може да се използва за изчисляване на непрекъснатата ВМП за всеки клас на уязвимост както следва:

$$PDF : p_{\beta}(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r)\Gamma(t-r)} \frac{(x-a)^{r-1}(b-x)^{t-r-1}}{(b-a)^{t-1}} \quad a \leq x < b \quad (4)$$

$$CDF : P_{\beta}(x) = \int_a^x p_{\beta}(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (5)$$

където PDF е дискретна бета вероятностна функция;

CDF – бета кумулативна функция на вероятностното разпределение;

a, b, t и r – параметри на разпределението, Γ е гама функция;

x – постоянна променлива, която варира между a и b .

Параметрите на бета разпределението са свързани със средното ниво на повреда μ_D със следната зависимост:

$$r = t \left(0,007\mu_D^3 - 0,052\mu_D^2 + 0,2875\mu \right). \quad (6)$$

Параметърът t се отнася до разсейването на разпределението и ако се използва $t = 8$, то бета разпределението изглежда много подобно на биномиалното разпределение.

При прилагане на бета разпределение е необходимо да се използва ниво на повреда **НП (D)**, което е дискретна променлива, характеризираща се с 5 нива на повреди плюс ниво на повреда **0** – липса на повреда. Препоръчително е да се присвои стойност **0** на параметъра **a** и стойност **6** на параметъра **b**.

Вероятностна функция с дискретно „бета“ разпределение се изчислява от вероятностите, свързани с нивата на повреди k и $k+1$ ($k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$), както следва:

$$P_k = \int_k^{k+1} p_{\beta}(y) dy = P_{\beta}(k+1) - P_{\beta}(k).$$

5. Алгоритъм на методиката

5.1. Матрица на типологиите сгради (МТС)

Първа стъпка в методиката, ако се следват принципите, описани по-горе е дефиниране на матрицата на типологиите сгради.

В рамките на проект RISK-UE (2004), за административен район „Триадица“ в София, екип от НИГГГ-БАН разработва кондензирана матрица на типологиите със седем конструктивни системи като, вземайки под внимание периода на построяване, типологиите стават общо 15. Тази класификация е направена за оценка на сеизмичния риск за отделен административен район в центъра на София, а не за цялата страна. Това е причината да се разработи нова по-подробна класификация, която да обхване всички съществуващи конструктивни системи у нас.

На основата на параметри, определящи вида на материала и типа на вертикалната и хоризонталната конструктивна система и начина на строителство, се формира т.нар. матрица на типологиите сгради.

Зидани конструкции

- **КТ1** Къщи от кирпич и тухли с ниско качество; камък с лошо качество на разтвора;
- **ЗД1** Неармирани зидарии със стоманобетонни плочи, греди и пояси, необрамчени или обрамчени с колони, $R = 0,4$;
- **ЗД2** Неармирани зидарии с дървен гредоред без стоманобетонни пояси, необрамчени с колони, $R = 0,67$;
- **ЗД3** Неармирани зидарии, обрамчени или необрамчени с колони със замонолитени сглобяеми подови елементи и стоманобетонни пояси, $R = 0,5$;
- **ЗД4** Сгради със стени от армирана зидария със стоманобетонни плочи и стоманобетонни пояси, необрамчени с колони, $R = 0,4$;
- **ЗД5** Сгради със стени от армирана зидария със стоманобетонни плочи и стоманобетонни пояси, обрамчени с колони, $R = 0,33$;
- **ЗД6** Сгради със стени от армирана зидария със замонолитени сглобяеми подови елементи, обрамчени с колони, етажност от 1 до 5 етажа, $R = 0,33$.

Стоманобетонни конструкции

Монолитни стоманобетонни конструкции

- **СтБ1** Едноетажни и многоетажни сгради с едноотворни и многоотворни рамки $R = 0,25$;
- **СтБ2** Скелетно безгредови конструкции с рамки, $R = 0,33$;
- **СтБ3** Смесени системи, еквивалентни на рамкови, със стени, участващи в поемането на сеизмичните сили от обрамчена с колони, неармирана тухлена зидария или бетон, $R = 0,33$;
- **СтБ4** Скелетно-безгредови конструкции със стоманобетонни шайби и/или с шайби от обрамчена с колони, неармирана тухлена зидария или бетон. Сгради, изпълнени по системите „Пълзящ кофраж“ (ПК), „Тунел-кофраж“ (ТК), „Едроразмерен кофраж“ (ЕК) и др. $R = 0,33$;
- **СтБ5** Скелетно-гредови конструкции, при които поемането на сеизмичните сили се осъществява от стоманобетонни шайби, или от съвместната работа на стоманобетонните шайби и стени от обрамчена с колони, неармирана тухлена зидария или бетон, включително и рамково-диафрагмени конструкции от плътни и с отвори стоманобетонни шайби, $R = 0,30$.

Сглобяеми стоманобетонни конструкции

- **СтБс1** Едноотворни и многоотворни скелетни конструкции без шайби, скелетни конструкции с един отвор, при които сеизмичните сили се поемат от колоните (конструкции с покривни ТТ панели, с виренделови греди и др.) $R = 0,35$;
- **СтБс2** Многоетажни (до 5 етажа) скелетно-рамкови конструкции, състоящи се от колони и греди, и сглобяеми подови елементи, стъпващи върху гредите, $R = 0,4 \div 0,5$ в зависимост от изпълнението на рамковите възли;
- **СтБс3** Скелетни конструкции с един и повече отвори, при които сеизмичните сили се поемат от шайби, изпълнявани по системите МС 83, т.нар. спирол с-ма; СКС-УС-73(86) и др.; $R = 0,28$;

- **СтБс4** Многоетажни рамкови конструкции с корави възли; рамкови конструкции за големи вертикални натоварвания, изпълнявани по системата ИИС-20 и др. $R = 0,25$;
- **СтБс5** Безгредови конструкции с „приведено” рамково действие, изпълнявани по системата **E1-72**, $R = 0,30$;
- **СтБс6** Безгредови конструкции с шайби, изпълнявани по системата „*Пакетно повдигани плочи*” ППП, $R = 0,30$;
- **СтБс7** Конструкции от едроразмерни стени и подови елементи; сгради, изпълнявани по системата ЕПЖС или други безскелетни системи $R = 0,33$ (0,25).

Стоманени конструкции

- **См 1** Рамки с корави възли $R = 0,25$;
- **См 2** Конструкции, в които сеизмичните сили се поемат от вертикални връзки, конструирани като централно включени в съответствие с БДС EN1998-1;
- **См 3** Рамки с корави възли, комбинирани;
- с вертикални връзки с Х-образна решетка $R = 0,25$;
- **См 4** Стоманени скелети със стоманобетонни шайби или ядра $R = 0,25$;
- **См 5** Смесени със сглобяем ст.б. скелет: греди и колони, и стоманени вертикални връзки в двете направления на сградата; покрив от профилирана ламарина. В много случаи гредите са предварително напрегнати.

Дървени конструкции

- **Д1** Конзоли, греди, дъги, ферми и рамки с нискодуктилни съединения във възлите $R = 0,67$;
- **Д2** Ферми със съединения във възлите чрез:
 - **Д21** дюбели и болтове $R = 0,5$;
 - **Д22** гвоздеи $R = 0,3$;
- **Д3** Статически неопределими портални рамки с дюбелни и болтови съединения $R = 0,4$;
- **Д4** Сгради с лепени стенни панели и лепени подови диафрагми, свързани с гвоздеи и болтове $R = 0,5$;
- **Д5** Сгради със стенни панели, ковани с гвоздеи и лепени подови диафрагми, свързани с гвоздеи и болтове $R = 0,3$;

Други

- **ДР1** системи, гъвкави при усукване (система с ядра) $R = 0,5$;
- **ДР2** система „обърнато махало” $R = 0,67$.

5.2. Матрица с класовете на уязвимост

Втора стъпка е дефинирането на класовете уязвимост (А, В, С, D, Е, F) на сградите с различните типове конструктивни системи, прилагани у нас.

Важен параметър, който се взема под внимание, е годината на построяване/проектиране на сградите със съответния тип конструктивна система. С този параметър е свързана информацията за нивото на сеизмичното осигуряване на отделните типове конструктивни системи. Ето защо ключовите разделителни дати са годините, в които

са приети, допълнени или изменени съответните правилници/наредби за строителство в сеизмични райони.

Имайки предвид годините на въвеждане на съответните нормативни документи за сеизмично осигуряване, данните, които съществуват в Националния статистически институт; информация за настъпили промени в строителната практика през различните периоди (нови конструктивни системи), констатирани повреди след минали земетресения (земетресението Вранча 1977 г., Стражица 1986 г.), съществуващи публикации до настоящия момент по настъпили промени в системите за проектиране и изпълнение, възприемаме следните периоди:

- (0) ≤ 1929
- (1) 1930 – 1957
- (2) 1957 – 1964
- (3) 1964 – 1977
- (4) 1977 – 1987
- (5) 1987 – 2007
- (6) ≥ 2007

В табл. 4 са показани класовете на уязвимост за типовете сгради от МТС във функция от годината на построяване/проектиране.

Таблица 4. Класове на уязвимост в съответствие с EMS-98 във функция от „възрастта” на сградата

Тип година на норми	КТ1	ЗД1	ЗД2	ЗД3	СтБ1	СтБ2	СтБ3	СтБ4	СтБ5	СтБс1	СтБс2	СтБс3
≤ 1929	A	A	A									
1930 – 1957	B	C	B	B	B	B	C					
1958 – 1965		C	B	B	C		C	C	C	C	C	B
1966 – 1977		C	B	C	C	B	D	D	C	C	C	B
1978 – 1987		C		C	C	B	D	D	D	C	C	C
1988 – 2007		D			D	B	D	E	E	D	D	D
≥ 2007		D			D	B	E	E	E	D	D	D

Таблица 4 – продължение

Тип година на норми	СтБс4	СтБс5	СтБс6	СтБс7	См1	См2	См3	См4	См5	Др1	Др2	Др3
≤ 1929												
1930 – 1957						C	C	C				
1958 – 1966					B	C	C	C	C			
1965 – 1977	C	B	C	C	C	C	C	C	C	D	C	C
1978 – 1987	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
1988 – 2007	D	D	D	D	E	E	E	E	E	D	D	E
≥ 2007					D	F	F	F	F	F	E	E

5.3. Дефиниране на индекс на уязвимост (V_I)

Трета стъпка е дефиниране на индекса на уязвимост V_I . Той се избира експертно, при обследване последователно на сградите в даден регион. При възможност за попълна информация за сградния фонд, индексът на уязвимост може да бъде допълнително уточнен.

В предлаганата методика се използват индекси на уязвимост, обобщени за съответните класове на уязвимост. В табл. 5 са дадени примерни стойности на индекса на уязвимост за различните класове на уязвимост, които могат да се използват у нас.

Всеки клас на уязвимост се дефинира чрез пет различни стойности, най-възможната стойност V_I , границите (V_I , V_I^+) на достоверния обхват и границите (V_I^{min} , V_I^{max}) на възможния обхват.

В различните региони на страната този индекс може да претърпи допълнителни уточнения, следвайки препоръките, дадени в проекта RISK-UE.

Таблица 5. Представителни стойности на индекса V_I

Клас на уязвимост	Представителни стойности на индекса V_I				
	V_I^{min}	V_I	V_I	V_I^+	V_I^{max}
A	0,78	0,86	0,9	0,94	1,02
B	0,66	0,7	0,74	0,78	0,86
C	0,46	0,54	0,58	0,62	0,7
D	0,3	0,38	0,42	0,46	0,54
E	0,14	0,22	0,26	0,3	0,38
F	-0,02	0,06	0,1	0,14	0,22

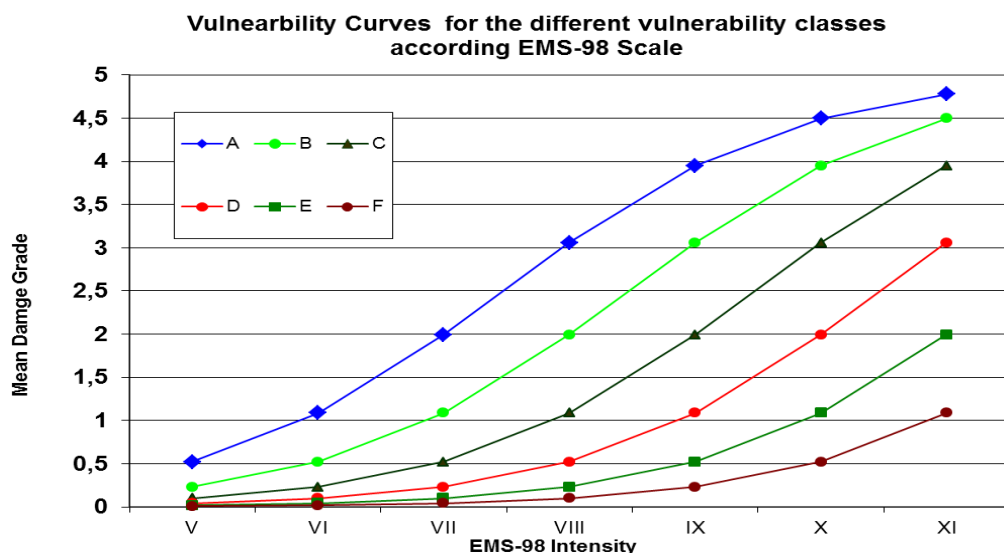
5.4. Определяне на средното ниво на повреда μ_D за различните класове на уязвимост

Четвърта стъпка е определяне на средното ниво на повреда μ_D за различните класове на уязвимост.

Като пример за прилагане на методиката в табл. 6 са дадени стойностите на μ_D за различните класове на уязвимост. На фиг. 3 са показани кривите на уязвимост чрез средните нива на повреди за различните класове на уязвимост.

Таблица 6. Стойности на средното ниво на повреда μ_D за различните класове на уязвимост и различните интензивности на сеизмичното въздействие

	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XI
A	0,521	1,086	1,991	3,061	3,951	4,499	4,777	4,904
B	0,232	0,521	1,086	1,991	3,061	3,951	4,499	4,777
C	0,100	0,232	0,521	1,086	1,991	3,061	3,951	4,499
D	0,042	0,100	0,232	0,521	1,086	1,991	3,061	3,951
E	0,018	0,042	0,100	0,232	0,521	1,086	1,991	3,061
F	0,008	0,018	0,042	0,100	0,232	0,521	1,086	1,991



Фиг. 3. Разпределение на средното ниво на повреди μ_D за различните класове на уязвимост

5.5. Определяне на разпределението на нивата на повреди за различните класове на уязвимост

След като е дефинирано средното ниво на повреда μ_D , е възможно да се оцени чрез бета разпределение на дискретна вероятностна функция, статистическото разпределение на нивата на повреди за група от сгради или вероятността отделната сграда от групата сгради да притежава някакво ниво на повреда. В табл. 7 са представени параметрите на разпределение на повредите за клас на уязвимост „C“ при различни сеизмични интензивности.

Таблица 7. Разпределение на нивата на повреди за сгради от клас на уязвимост C

	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
0	0,904	0,788	0,577	0,294	0,079	0,009	0
1	0,092	0,192	0,335	0,408	0,261	0,069	0,008
2	0,004	0,019	0,078	0,226	0,346	0,219	0,058
3	0	0	0,009	0,063	0,229	0,345	0,217
4	0	0	0	0,009	0,076	0,272	0,409
5	0	0	0	0	0,010	0,086	0,308

5.6. Определяне на кривите на разрушаване

Друг подход за представяне на уязвимостта на сградата е чрез кривите на разрушаване. Те изразяват вероятността очакваната повреда на конструкцията да надхвърли фиксирано ниво на повреда, по време на сеизмичното въздействие (в настоящата методика макросеизмичната интензивност):

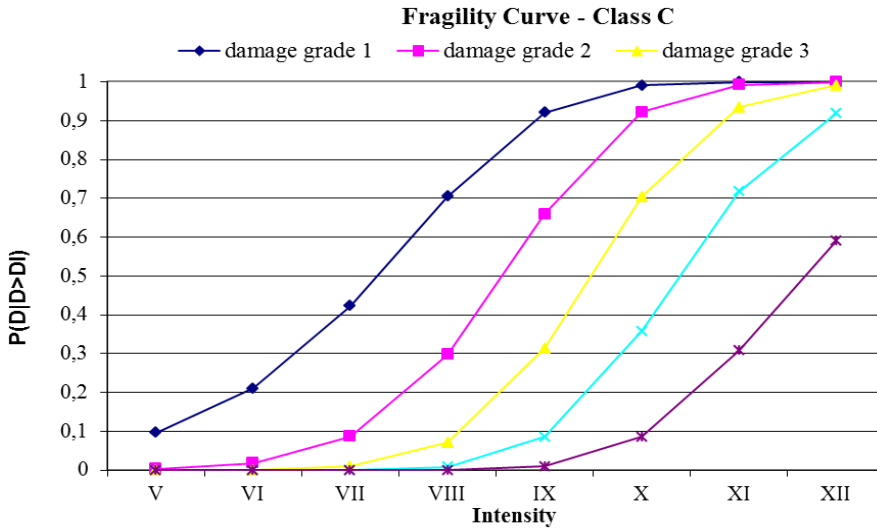
$$P(D \geq D_k) = \sum_{j=k}^5 p_j, \quad (9)$$

където p_j е вероятността, свързана с ниво на повреда j ($j = 0, 1, 2, 3, 4, 5$). D отговаря на HP_k .

Кривите на разрушаване за дадено ниво на повреда може да бъдат получени в аналитична форма и са дадени директно от кумулативното вероятностно „бета“ разпределение

$$P(D \geq D_k) = 1 - P_\beta(k). \quad (10)$$

Във фиг. 4 са дадени като пример най-вероятните криви на разрушаване за клас на уязвимост „C“ чрез нивата на повреди и сеизмичните интензивности.



Фиг. 4. Криви на разрушаване – клас C

6. Заключение

Предложена е цялостна методика за определяне на уязвимостта на сградния фонд като част от обща методика за оценка и картографиране на сеизмичния риск. Основният метод, който се прилага, е емпиричният метод на базата на Европейската макросеизмична скала (ЕМС-98), с използването на индекс на уязвимост.

Разработена е нова матрица на типологиите на конструктивните системи на сградите у нас. Матрицата съдържа 24 типа конструкции, класифицирани в зависимост от вида строителен материал, типа на вертикалната и хоризонталната конструктивна система и начина на строителство.

Получена е вероятностна матрица на повредите, за класовете на уязвимост от (ЕМС-98) във функция на „възрастта“ на сградата.

Изчислени са представителни стойности на индекса на уязвимост за отделните класове на уязвимост.

Определени са стойностите на средното ниво на повреди μ_D за различните класове на уязвимост и на тази база е определено разпределението на нивата на повреди.

Използван е и алтернативен подход за представяне на уязвимостта на сградата като са определени криви на разрушаване, които изразяват вероятността очакваната повреда на конструкцията да надхвърли фиксирано ниво на повреда, по време на сеизмичното въздействие.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Giovinazzi, S., S. Lagomarsino.* A Macro seismic Model for the vulnerability assessment of buildings. Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, Canada, 2004.

2. *Roseetto, T., A. Elnashai.* Derivation of Vulnerability Functions for RC Buildings based on Observational Data. European Commission, Community Research, SAFERR Project Report, 2004.

3. *Giovinazzi.* NETWORK of RESEARCH INFRASTRUCTURES FOR EUROPEAN SEISMOLOGY (NERIES) Report: Development of ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) Methodology: Vulnerability Relationships Sixth Framework Programme EC project number: 026130; 2010.

4. RISK-UE 2004. The European Risk-Ue Project: An Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios, (2001 – 2004) www.risk-ue.net.

5. *Grunthal, G.* European Macro seismic Scale 1992 (up-dated MSk-scale), Esc, Vol.7, Luxembourg, (1993).

EMPIRICAL APPROACH TO VULNERABILITY ASSESSMENT OF BUILDINGS AS PART OF A COMMON METHODOLOGY FOR MAPPING OF SEISMIC RISK

D. Stefanov¹, E. Vaseva²

Keywords: seismic risk, vulnerability of building stock, seismic damages, European Macro Seismic Scale (EMS-98)

ABSTRACT

The subject of the presented paper is a relatively new approach to the definition of damage probability matrix (DPM) based on the European Macro Seismic Scale (EMS'98) using the Vulnerability Index V_I , which presents the belonging of one type of building to a given class of vulnerability and the mean damage grade μ_D , determined on the basis of intensity I and vulnerability index V_I for each building type.

The developed methodology is applied to defining the damage probability matrices for the introduced six classes of vulnerability in which buildings with different types of construction systems are divided.

¹ Dimitar Stefanov, Assoc. Prof. Dr. Eng., NIGGG-BAS, e-mail: dstefanov@geophys.bas.bg

² Elena Vaseva, Assoc. Prof. Dr. Eng., NIGGG-BAS, e-mail: evasseva@yahoo.com