



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
**НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО ГЕОФИЗИКА,
ГЕОДЕЗИЯ И ГЕОГРАФИЯ**

София 1113, ул. "Акад. Г. Бончев" бл. 3, тел: (02)9793322, факс: (02)9713005
www.geophys.bas.bg, e-mail: office@geophys.bas.bg

**МЕТОДИКА ЗА АНАЛИЗ, ОЦЕНКА И
КАРТОГРАФИРАНЕ НА СЕИЗМИЧНИЯ
РИСК НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

Утвърдена със Заповед № РД-02-14-469 от 23.05.2018 г. на
министъра на регионалното развитие и благоустройството

София
май 2018 г.

СЪДЪРЖАНИЕ

ВЪВЕДЕНИЕ	5
ЧАСТ 1. ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНАТА ОПАСНОСТ (SEISMIC HAZARD ASSESSMENT).....	8
1.1. Входни данни	9
1.1.1. Идентификация на сеизмогенни структури по геофизични данни	9
1.1.2. Съвременни движения на земната кора	14
1.1.3. Сеизмологична база данни и хомогенизиран деклъстеризиран каталог.....	26
1.2. Създаване на сеизмотектонски модел.....	29
1.3. Генериране на модел на сеизмичните източници (идеализация на сеизмотектонския модел)	30
1.4. Дефиниране параметрите на сеизмичните източници	31
1.5. Избор на релации за затихване на земните движения.....	33
1.6. Моделиране на неточностите в сеизмичния вход (логическо дърво).....	35
1.7. Вероятностна оценка на сеизмичната опасност (Probabilistic Seismic Hazard Assessment)	37
1.8. Детерминистична оценка на сеизмичната опасност (deterministic Seismic Hazard Assessment).....	41
ЧАСТ 2. ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНАТА УЯЗВИМОСТ	43
2.1. Сграден фонд.....	43
2.1.1. Входни данни за сгради.....	43
2.1.2. Класификация на сградния фонд в зависимост от типа на конструктивната система, годината на проектиране/ построяване, етажността и предназначението	45
2.1.3. Нива на повреди и разрушения в конструкциите на сградите.....	47
2.1.4. Оценка на уязвимостта на сградния фонд	49
2.1.5. Алгоритъм на методиката за оценка на сеизмичната уязвимост	53
2.2. Техническа инфраструктура	54
2.2.1. Транспортна инфраструктура	54
2.2.2. Техническа инфраструктура за питейна и отпадъчна вода.....	65
2.2.3. Техническа инфраструктура за газоснабдяване	75
2.2.4. Техническа инфраструктура за електроснабдяване.....	77
ЧАСТ 3. ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНИЯ РИСК	81
3.1. Сеизмичен риск за сградния фонд	81
3.1.1. Оценка на директните повреди и разрушения на сградния фонд	81
3.1.2. Оценка на жертвите и ранените	83
3.1.3. Оценка на икономическите загуби вследствие на директните физически повреди и разрушения	85
3.2. Сеизмичен риск за техническата инфраструктура	86
3.2.1. Оценка на директните повреди и разрушенията на транспортната инфраструктура	86
3.2.2. Оценка на директните повреди и разрушения на техническата инфраструктура – комунални системи (питейна и отпадъчна вода, газоснабдяване, електроснабдяване).....	92

ЧАСТ 4. КАРТОГРАФИРАНЕ НА СЕИЗМИЧНИЯ РИСК.....	109
4.1. Структура и съдържание на специализирана единна геобаза данни	109
4.2. Интегриране и трансформиране на пространствени данни	115
4.3. Разработване на метаданни	117
4.4. Съставяне на карти на сеизмичния риск.....	119
4.5. Дизайн на картите на сеизмичния риск	122
4.6. Изходни пространствени данни	126
ЛИТЕРАТУРА.....	129
ТЕРМИНИ	134
ИЗПОЛЗВАНИ СИМВОЛИ И СЪКРАЩЕНИЯ	138
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	140
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	162

Настоящата Методика за анализ, оценка и картографиране на сеизмичния риск на Република България е разработена от Националния институт по геофизика, геодезия и география – БАН по възлагане на Министерството на регионалното развитие и благоустройството (договор № РД-02-29-79/08.04.2016 г.)

Основната цел е да се създадат подробни правила за анализ, оценка и картографиране на сеизмичната опасност, изложеността, уязвимостта на сградния фонд и инженерните съоръжения и сеизмичния риск като цяло. Използването на единна методика ще създаде условия за съвместимост и приемственост на резултатите от разработките, осъществявани в различни периоди от различни изследователски екипи.

Методиката е разработена от колектив в състав:

проф. д-р Светослав Симеонов – ръководител
чл.-кор. проф. д-р Димчо Солаков
проф. д-р Иван Георгиев
проф. д-р Румяна Вацева
проф. д-р Димитър Димитров
доц. д-р Димитър Стефанов
доц. д-р Стела Симеонова
доц. д-р Петя Трифонова
доц. д-р Елена Васева
доц. д-р Емилия Черкезова
доц. д-р Ирена Александрова
доц. д-р Антоанета Канева
доц. д-р Мариан Върбанов
гл. ас. д-р Методи Методиев
ас. д-р Пламена Райкова
инж. Дейвис Динков

ВЪВЕДЕНИЕ

Основните термини и понятия – *риск*, *опасност (хазарт)*, *излагане (изложеност)*, *уязвимост* и *оценка на риска*, са дефинирани и приети в редица утвърдени международни документи, като UNISDR (2009); EC (2011); ISO 31000 (2009); Seismic hazards (<https://www.fema.gov/earthquake/your-earthquake-risk>) и др. Така например, съгласно UNISDR (2009) „**Оценката на риска** е методология за определяне на характера и степента на риска чрез анализ на потенциалните опасности и оценка на съществуващите условия на уязвимост, които заедно биха могли да навредят на хората, имуществото, услугите, средствата за преживяване и околната среда, от които те зависят. *Пояснение:* Оценката на риска (и свързаното с нея картографиране на риска) включва: преглед на техническите характеристики на опасностите, като тяхното местоположение, интензивност, честота и вероятност; анализ на изложеността (експозицията) и уязвимостта, включително физически, социални, здравни, икономически и екологични измерения; както и оценка на ефективността на преобладаващия и алтернативния капацитет за справяне по отношение на вероятните сценарии на риска. Тази поредица от дейности е известна също така като процес на анализ на риска”.

В настоящата Методика за анализ, оценка и картографиране на сеизмичния риск въз основа на експертно знание, съгласувано с посочените по-горе документи, се възприемат следните дефиниции на основните термини:

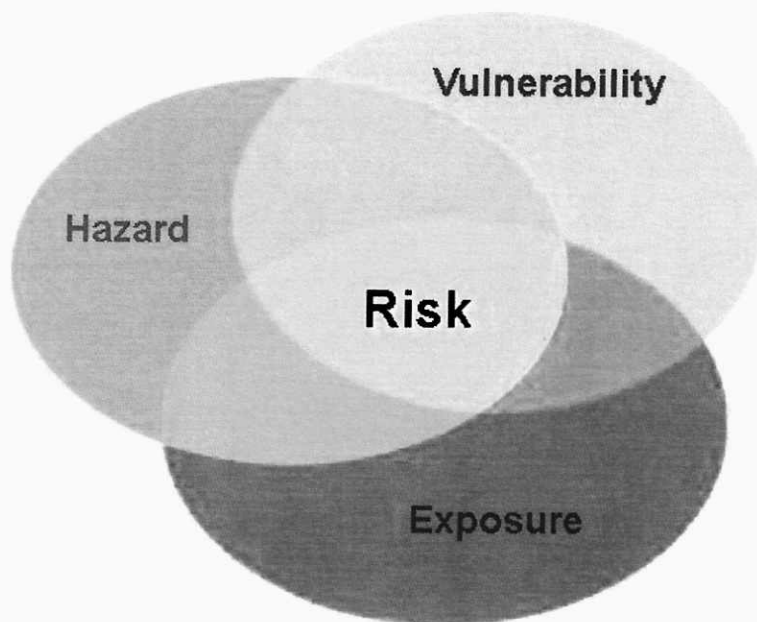
Риск – комбинация от вероятността да се случи дадено събитие и неговите негативни последици.

Под **сеизмичен риск** се разбират вероятните последствия от излагането на даден елемент на риска (хора, сгради, съоръжения, природна среда и др.) на сеизмична опасност (хазарт). Обикновено последствията се изразяват в очакваните директни и косвени загуби: човешки жертви (смъртни случаи и ранени), икономически, физически и материални (разрушени и повредени сгради и инженерни съоръжения). Специфични загуби, като обем на отломките от разрушените сгради, брой на домакинствата, нуждаещи се от подслон, и други, се използват директно за планиране на действията в случай на бедствие.

Най-общият израз на сеизмичния риск се дава с релацията:

Сеизмичен риск = сеизмична опасност (хазарт) x изложеност x уязвимост

Дефиницията е илюстрирана на фигура 1.



Фигура 1. Илюстрация на дефиницията за: *Seismic risk* (сеизмичен риск); *Hazard*: (сеизмична опасност); *Exposure* (изложеност); *Vulnerability* (уязвимост)

Резултатите от анализа на сеизмичната опасност, комбинирани с изложеността и функции на уязвимостта (оценяват вероятността за поява на различни нива на увреждане на съоръженията в зависимост от земетръсните движения), водят до оценка на сеизмичния риск.

Сеизмичният риск зависи от редица фактори – социално-икономическо развитие, съотношение на опасността между различните очаквани природни явления – земетресения, наводнения, тайфуни и др.

Основните фактори, определящи сеизмичния риск в даден район, са: *фактор изложеност* – нивото на сеизмичната опасност, брой на хората и обектите (частна и публична собственост, паметници на културата, инфраструктура, управление, функции на града и т.н.), изложени на сеизмичната опасност, и *фактор уязвимост* – степента, до която хората и собствеността в този район са уязвими при земетръсната опасност.

Сеизмичната опасност (хазарт) се дефинира като процес или физическо явление, свързано с реализацията на едно земетресение, водещо до загуба на живот, нараняване или други въздействия върху здравето на човека, имуществени щети, загуба на поминък и услуги, социални и икономически сътресения или увреждане на околната среда.

Изложеността описва всичко, което потенциално е изложено на сеизмична опасност. Включва хора, имущество, съоръжения, инфраструктури и др., които са разположени в сеизмично опасна област и са обект на потенциални загуби.

Уязвимост – най-общо това е зависимостта между степента на увреждане на сгради и съоръжения и сеизмичните въздействия. Съществуват много аспекти на уязвимост, произтичащи от различни физически, социални, икономически и екологични фактори. Уязвимостта варира значително в рамките на дадена общност и във времето. В общата употреба на термина “уязвимост” често се влага по-широк смисъл, като се включва и “изложеността”.

Анализ на сеизмичния риск – процес, свързан с разкриване на същността, източниците, причините и степента на риска. Използва се за изследване на въздействията, последиците и възможностите за контрол и управление на риска.

Оценка на сеизмичния риск – процес за определяне на характера и степента на риска, като се анализират потенциалната сеизмична опасност и съществуващите условия на уязвимост, които биха могли да представляват заплаха или да причиняват увреждане на хора, имущество, дейности и околната среда.

Картографиране на сеизмичния риск – процес, насочен към зонирание на територията чрез определяне на районите с различни степени на сеизмичен риск въз основа на пространствените аспекти на анализа и оценката на риска.

ЧАСТ 1. ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНАТА ОПАСНОСТ (SEISMIC HAZARD ASSESSMENT)

Сеизмичната опасност (seismic hazard) може да се дефинира като процес или физическо явление, свързано с реализацията на земетресение, което може да доведе до загуба на живот, нараняване или други въздействия върху здравето на човека, имуществени щети, социални и икономически сътресения и увреждане на околната среда (UNISDR). Сеизмичната опасност е природна даденост, която не може да бъде контролирана от човека.

Съществуват два основни подхода за оценка на сеизмичната опасност – детерминистичен и вероятностен.

Вероятностният подход оценява вероятността земното движение да превиши дадено ниво вследствие на земетресение за определен период от време. Земното движение може да бъде представено чрез различни характеристики – макросеизмична интензивност, максимално ускорение (скорост, преместване), спектрални ускорения и др. Вероятностният подход дава количествена оценка на сеизмичната опасност за дадена площадка от всички възможни земетресения на различни разстояния като брой надвишавания, или вероятност за надвишаване на дадено ниво на земното движение за интересувачи ни периоди от време (Thenhaus, Campbell, 2003).

Детерминистичният подход се основава на появата на земетресение с определена сила и конкретно местоположение и оценява въздействията от това земетресение за конкретна площадка. Детерминистичната оценка е нивото на сеизмичните земни движения, предизвикани от най-силните земетресения, реализирани в най-близките до дадена площадка сеизмични източници. В зависимост от целта на изследването могат да се разглеждат и по-слаби (с по-голяма вероятност за случване) или на по-голямо разстояние референтни земетресения. Въздействията могат да бъдат представени чрез различни характеристики – макросеизмична интензивност, максимално ускорение (скорост, преместване), спектрални ускорения и др. Този подход не прогнозира вероятността за случване на даденото събитие през определен период от време.

Най-общо, анализът на сеизмичната опасност е свързан с оценката на земните движения на дадена площадка вследствие на множество от сеизмични сценарии (Bommer, Abrahamson, 2006). Всеки сценарий се дефинира чрез силата (магнитуда, M) на земетресението, разстоянието (епицентрално/ хипоцентрално/ най-близко до разкъсването/ JB – най-близко до проекцията на разкъсването на земната повърхност) до площадката (D), параметри на земетресението, като тип разломяване, геометрия на разломяването и др., и почвените условия на площадката. Стойността на изчисления за анализ параметър се изчислява

(прогнозира) чрез закони за затихване, които се представят в следната форма (Bommer, Abrahamson, 2006):

$$\log(Y) = f(M, D, X) + \varepsilon \sigma,$$

където X е вектор от всички останали параметри. Тези равенства дефинират вероятностното разпределение на параметъра на земното движение. Сценарият трябва да включва избрана стойност на ε (разликата между дадена стойност на параметъра и медианната стойност f , изразена като части от стандартното отклонение σ).

Съществената разлика между детерминистичния (DSHA) и вероятностния анализ на сеизмичната опасност (PSHA) е, че при DSHA се разглежда само един или няколко M-D-X-ε сценария, докато при вероятностния анализ се разглеждат ефектите от всички възможни комбинации на M, D, X и ε. Вероятностният подход е разработен, за да се отчита неопределеността, заложена в сеизмичния процес (Cornell, 1968), а не да се избира и разглежда конкретен случай (Bommer, Abrahamson, 2006).

Съвременните техники (програмни продукти) позволяват в анализа да се отчитат и неточностите във входните данни, необходими за оценката на сеизмичната опасност. Вероятностната оценка на проектните нива на земното движение се извлича директно от PSHA анализа.

Представената методика за оценка на сеизмичната опасност е в съответствие с изискванията и препоръките, дадени в редица нормативни документи, третиращи тази задача (напр. IAEA, 2010, ICOLD 2010, FEMA, 2005), приложена е за сеизмичното райониране на България 2007-2009 (Отчет ГФИ, 2007, Отчет ГФИ, 2008, Солаков и др., 2009) и за оценка на сеизмичната опасност за множество високорискови съоръжения на територията на страната.

1.1. ВХОДНИ ДАННИ

1.1.1. Идентификация на сеизмогенни структури по геофизични данни

Анализът и интерпретацията на геофизични данни позволяват локализирането на аномалообразуващи структури в горните слоеве на земната кора, които могат да бъдат потенциални източници на сеизмична активност. Тези източници на аномални ефекти се отбелязват общо като контактни структури и ще послужат за компилирането на сеизмотектонския модел, необходим за оценка на сеизмичната опасност.

1.1.1.1. Дефиниране на типовете данни, които могат да бъдат използвани за регионална интерпретация

Като най-подходящ набор от методи за регионална интерпретация може да се посочи комплексната интерпретация на гравитационни и геомагнитни данни.

Основен източник на данни за гравитационното поле на територията на страната е “Гравиметрична карта на България в М 1:100 000”, предоставяна за ползване от Националния геоложки фонд при МЕ.

Гравиметричните аномалии са представени числено в каталози и графично на 99 картни листа с 4 слоя на MAPINFO и сечение на аномалиите 1 mGal.

Съставена е компютърна Гравиметрична база данни, съдържаща 279 115 точки с пълния набор гравиметрични данни. Числените данни за всяка измервателна точка с нейните координати, аномални стойности и въведени корекции са цифровани и записани на дискови носители.

През 2000 г. е завършена работата по съставянето на “Карта на магнитното поле – За на Р. България в М 1:100 000”. Общият брой измервателни точки с данни за вертикалната компонента (Z_a) по територията на страната е 217 823.

Резултатите от окончателната обработка на данните са представени на 83 картни листа със сечение на изолиниите 25 nT в MAPINFO. Съставена е “Геомагнитна информационна база данни”, която съдържа цифровани всички данни за измервателните точки.

Към гореописаните гравитационни и геомагнитни данни могат да бъдат добавени още резултати от вече направени геофизични изследвания и анализи, като: геолого-геофизични разрези; структурни схеми; карти на топлинното поле, както и общи данни (физични свойства на скалните комплекси): плътност [g/cm^3]; магнитна възприемчивост [ед. SI]; скорост на разпространение на сеизмичните вълни [m/s];

1.1.1.2. Описание на методите за идентифициране на линейни структури в горната част на земната кора по гравитационни и геомагнитни данни

За целите на анализа на геофизични данни за съставяне на сеизмотектонски модел се използват основно 5 интерпретационни метода: 1) аналитично продължение на полето (гравитационно и геомагнитно) в горното полупространство; 2) изчисляване на пълния хоризонтален градиент (THG) на гравитационното поле; 3) изчисляване на вертикалните производни; 4) преобразуване на аномалното магнитно поле Z_a в поле на модула на аномалния магнитен вектор T_a ; 5) Ойлерова деконволюция.

1. Аналитично продължение на полето (гравитационно и геомагнитно)
в горното полупространство

За изчисляване на аналитичното продължение в горното полупространство могат да се използват различни техники. Най-често използвани са две от тях: чрез непосредствено решаване на интеграла на Поасон или чрез трансформация на данните в спектралното пространство.

2. Изчисляване на пълния хоризонтален градиент (THG) на
гравитационното поле

Гравитационните аномалии от преходен тип стават добре различими след трансформация на данните към модула на пълния хоризонтален градиент (Total Horizontal Gradient/ THG). Това се получава чрез изчисляване на хоризонталните производни по две ортогонални оси и геометричното им сумиране.

На картата на аномалното поле производните в посоките x и y се получават в точките на интерполационната мрежа. В тези точки съответно се изчислява също и големината на пълния хоризонтален градиент.

3. Изчисляване на вертикалните производни

Най-често използван е спектралният метод, при който комплексният Фуриеров спектър на аномалията е умножен с честотната характеристика на преобразуването и полученият резултат отново е трансформиран в пространствената област.

4. Преобразуване на аномалното магнитно поле Z_a в поле на модула на
аномалния магнитен вектор T_a

За подобряване на корелацията между аномалните екстремуми и положението на магнитните източници е необходимо да се извърши преобразуване на аномалното поле Z_a в поле на модула на аномалния магнитен вектор T_a .

5. Ойлерова деконволюция

Конвенционалната Ойлерова деконволюция използва трите ортогонални градиента на каква да е потенциална величина или самия потенциал за определяне на дълбочината и положението на смущаващото тяло. Тя се прилага при интерпретация на профилни данни (2-D Euler) и площни данни (3-D Euler) чрез използване на движещ се прозорец с равномерна стъпка и големина $n \times n$ точки от грид мрежата.

Описаните методи могат да бъдат използвани в комплект или частично в зависимост от преценката на експертите.

Специализиран софтуер

В практиката на геофизичните изследвания се наблюдава голямо разнообразие от софтуерни продукти и честа употреба на авторски изчислителни и интерпретационни програми. Подходящи за използване са: *OasisMontaj*

(*GEOSOFT*); *Surfer* (*GOLDEN SOFTWARE*); *PF software* пакет от програми на J. Phillips от USGS (U.S. Geological Survey Open-File Report 83-237, 31 p.); Generic Mapping Tools (GMT), Wessel, P. and W. H. F. Smith, (EOS Trans. AGU, 79, 579, 1998).

1.1.1.3. Представяне и оценка на резултатите от интерпретацията на аномалното гравитационно и геомагнитно поле

Интерпретацията на аномалното гравитационно и геомагнитно поле най-общо може да се обозначи като два типа: качествена и количествена.

Качествената интерпретация включва изготвяне на карти на аномалните полета с подходяща стъпка, мащаб и разделителна способност. Картите се изготвят в Глобалната земна координатна система WGS84, като най-често се използва метричната проекция Universal Transverse Mercator, zone 35N (UTM35). Мащабът се определя в зависимост от големината на изследваната територия, като за цялата страна е удачно да се работи в М 1:1 000 000, докато за изучаване на отделни региони може да се използва и М 1:100 000.

Резултатите от качествената интерпретация на аномалните полета се представят във вид на описание на наблюдаваните аномални зони, групи аномалии и отделни аномални проявления. Коментираните аномалии се отбелязват върху картите със система от буквено-цифрени означения за по-лесно проследяване на тяхното пространствено положение.

Количествената интерпретация се извършва чрез идентифициране и маркиране на контактните структури по осите на максимумите, получени на картата на тоталния хоризонтален градиент на аномалното гравитационно поле. Параметрите, които се определят, са: 1) координатите на проекцията на структурата на земната повърхност; 2) дължината на проекцията. Другият количествен параметър, който може да бъде получен с описаните директни методи на интерпретация; 3) дълбочината до смущаващия източник по решенията от приложената Ойлерова деконволюция по гравитационни и/или геомагнитни данни. Това е допълнителен параметър, който дава приближителна информация за разположението на структурите в дълбочина и може да намери приложение при уточняването на сеизмотектонския модел. Оценка на получените резултати от анализа и интерпретацията на геофизични данни може да бъде направена чрез съпоставка на резултатите с геоложки и тектонски карти.

1.1.1.4. Създаване на база данни на идентифицираните аномални източници за разработване на сеизмотектонски модел

Анализът и интерпретацията на данните за аномалното гравитационно и аномалното геомагнитно поле приключва със създаване на база данни с параметрите на идентифицираните източници, които ще бъдат използвани при създаване на сеизмотектонския модел за оценка на сеизмичната опасност. Получените линейни структури се описват еднозначно с двете си координати (начало и край) или координатите на техните сегменти при по-сложните структури. За удобство при по-нататъшната интерпретация и анализа на геофизичната информация е удачно да бъде изчислена и дължината на всяка структура. За аномалните източници, за които може да бъде определена и дълбочината по метода на Ойлеровата деконволюция или по други методи, е препоръчително да бъде добавен и този параметър в базата данни. Към числените параметри на структурите може да бъде добавено и кратко описание, в случай че е налична допълнителна информация за аномалния източник.

Моделът на такава база данни има следния вид:

№ на линеамент	Координати на краищата		Дължина [km]	Дълбочина* [km]	Описание*
	Географска дължина WGS84 [Dec.Deg.]	Географска ширина WGS84 [Dec.deg.]			
1	DD.dddd	DD.dddd	L	H	
	DD.dddd	DD.dddd	L	H	
2	DD.dddd	DD.dddd	L	H	
	DD.dddd	DD.dddd	L	H	
и т.н.	
	

* незадължителни параметри, дават се само при наличие на информация

Графични приложения:

1. Карта на аномалното гравитационно поле (редукция по Буге). Единици: *mGal*. Основа: WGS84, проекция: UTM35, мащаб: от 1:1 000 000 до 1:100 000.
2. Карта на аномалното геомагнитно поле (вертикална компонента). Единици: *nT*. WGS84, проекция: UTM35, мащаб: от 1:1 000 000 до 1:100 000.
3. Карти на аналитичното продължение на аномалното гравитационно и геомагнитно поле на различни височини. Единици: за гравитационното *mGal*, за геомагнитното *nT*. Основа: WGS84, проекция: UTM35, мащаб: в зависимост от мащаба на картите на аномалните полета.

4. Карта на тоталния хоризонтален градиент на гравитационното поле. *Единици: $mGal/km$. Основа: WGS84, проекция: UTM35, мащаб: в зависимост от мащаба на картите на аномалните полета.*
5. Карти на вертикалния градиент на гравитационното и/или геомагнитното поле. *Единици: за гравитационния градиент $mGal/km$, за геомагнитния градиент nT/km . Основа: WGS84, проекция: UTM35, мащаб: в зависимост от мащаба на картите на аномалните полета.*
6. Карта на модула на тоталния вектор на аномалното геомагнитно поле. *Единици: nT . Основа: WGS84, проекция: UTM35, мащаб: в зависимост от мащаба на картите на аномалните полета.*
7. Карти на решенията, получени по метода на Ойлеровата деконволюция по гравитационни и/или геомагнитни данни. *Единици: km . Основа: WGS84, проекция: UTM35, мащаб: в зависимост от мащаба на картите на аномалните полета.*
8. Схема на идентифицираните структури (линеаменти) по геофизични данни. *Основа: WGS84, проекция: UTM35, мащаб: в зависимост от мащаба на картите на аномалните полета.*

1.1.2. Съвременни движения на земната кора

Определянето на съвременните хоризонтални и вертикални движения на земната кора се извършва чрез методите на спътниковата геодезия. Първите резултати за движенията на земната кора в глобален мащаб са получени през 80-те години на XX век от обработка и анализ на лазерни наблюдения на Изкуствени спътници на Земята (ИСЗ). С появата и навлизането на GPS (Global Positioning System)/ GNSS (Global Navigation Satellite Systems) технологиите в геодезическата практика те се превръщат в основен инструмент за получаване на оценки за съвременните движения на земната кора. Използването на GNSS позволява получаването на съвременните движения, напрежения и ъглови деформации на земната кора от глобален до локален мащаб с много висока точност. Това от своя страна дава възможност да се търсят причините за литосферната и регионалната динамика и да се оценява сеизмичният цикъл.

На територията на България оценки на съвременните движения на земната кора се получават от обработката и анализа на GNSS измервания от перманентни GNSS мрежи, от периодично измервани точки на специализирани геодинамични мрежи и от Държавната GPS мрежа на България. Резултатът от обработката и анализа на измерванията са хоризонтални и вертикални движения на GNSS перманентните станции и периодично измерваните точки. Обработката и анализът се извършват съгласно международно утвърдени стандарти и методика със съвременен научноизследователски софтуер, отразяващ последните постижения в областта на GNSS технологиите. На базата на получените съвременни движения се изчисляват напреженията и ъгловите деформации на земната кора. Съвременните GPS/GNSS мрежи съвместно със сеизмичните мрежи са инфраструктурата, необходима за мониторинг на геодинамичните процеси. Същественият принос на геодезията в този процес е получаването на съвременните движения на земната кора. Поддържането на перманентни и

специализирани геодинамични GPS/GNSS мрежи и обработката и анализът на измерванията са основните аспекти за оценка на деформациите преди, по време и след настъпване на сеизмични събития. Интегрирането на сеизмичните и геодезическите мрежи е ключов елемент за създаване на сеизмотектонски модели и за оценка на сеизмичния риск.

1.1.2.1. Нормативни документи

В Република България не съществуват нормативни документи, регламентиращи както получаването на оценки за съвременните движения, така и напреженията, и ъгловите деформации на земната кора. Използването на GNSS технологиите в Република България е регламентирано в Инstrukция № РД-02-20-25 от 20 септември 2011 г. за определяне на геодезически точки с помощта на глобални навигационни спътникови системи, ДВ, бр. 79, 11.10.2011 г. Инstrukцията не третира обработката и анализа на GNSS измервания за получаване на оценки за съвременните движения.

Липсата на нормативни документи не е изключение. В европейски и световен мащаб получаването на съвременните движения чрез методите на спътниковата геодезия е регламентирано в международно приети стандарти и методики, съобразени с бързо развиващите се наблюдателни техники и методи на спътниковата геодезия за обработка и анализ.

Основният технически меморандум, дефиниращ стандартите, моделите и фундаменталните константи при обработка и анализ на спътниковите измервания, е публикуван от Международната служба за ротация на Земята и координатните системи (IERS/ International Earth Rotation and Reference System Service) със седалище Париж: Gerard Petit and Brian Luzum (2010) IERS Conventions 2010, IERS Technical Note No. 36, Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2010.

Основният технически меморандум, касаещ стандартите и методиката за обработка и анализ на GNSS измервания за получаване на координати и скорости с висока точност на територията на Европа, е: Claude Boucher and Zuheir Altamimi (2011) Memo : Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign, Version 8: 18-05-2011, <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V8.pdf>.

В Република България методиката за (високоточно) определяне на координати и скорости от GPS/GNSS измервания е засегната в монографиите на Георгиев и др. (2007) и Георгиев и др. (2008), които описват подробно обработката и анализа на GPS измерванията за получаване на координатите и скоростите на точките от Държавната GPS мрежа на Република България.

1.1.2.2. Координатни системи

Основен въпрос при обработката и анализа на GNSS измервания за получаване на координати и скорости е използването на съвременна координатна система, в която да се извърши тази обработка. Въпросът е разгледан подробно в т. 4.2.1 „Оценка на съвременни движения на земната кора по данни от перманентни GNSS станции, GNSS точки от геодинамичните мрежи на НИГГГ и Държавната GPS мрежа“ на Методиката за анализ, оценка и картографиране на сеизмичния риск на Република България. Тук са споменати само основните методологични аспекти на съвременните координатни системи.

Международната служба за ротация на Земята и координатните системи (IERS) и Секцията за координатни системи на Националния географски институт (Institut Geographique National), Париж, са международните структури, които отговарят за дефинирането, реализацията, поддържането и разпространението на Международната земна координатна система (ITRS/ International Terrestrial Reference System) в съответствие с резолюциите на Международната асоциация по геодезия (IAG/ International Association of Geodesy). Международната служба IERS дефинира Международната земна координатна система (ITRS) и нейните реализации ITRF_{yy}, където с yy се означава годината на публикуването им.

Европейска земна координатна система ETRS89

Основният недостатък на глобалната координатна система ITRS е, че координатите на точките в тази система се изменят основно заради глобалните тектонски движения. Това изменение във времето прави координатите неподходящи за практически приложения. За да бъде преодолян този проблем, Международната асоциация по геодезия (IAG) и CERGO (Central European Initiative Working Group on Science and Technology) през 1987 г. проектират и през 1989 г. реализират Европейска земна координатна система (ETRS/ European Terrestrial Reference System), базирана на GPS измервания.

ETRS покрива територията на Европа и осигурява високоточна мрежа с широк спектър приложения: геодезия, картография, навигация, геодинамика и т.н. Проектът се координира от Международната асоциация по геодезия. По време на генералната асамблея на Международния съюз по геодезия и геофизика във Ванкувър (1987) е създадена нова подкомисия на Международната асоциация по геодезия – EUREF (European Reference Frame), със задача да дефинира и въведе новата 3-D координатна система за континентална Европа. Концепцията, залегнала в основата на ETRS, се състои в създаването на високоточна континентална мрежа, еднородна като геометрия и точност, отнесена към геоцентъра и невлияеща се (в голяма степен) от изменения във времето. Координатната система ETRS концептуално се дефинира чрез мрежа от станции, намиращи се на стабилната част на Евроазиатската континентална плоча, чиито вътрешни (intra-plate) деформации са пренебрежимо малки (за

няколкогодишен интервал). Епохата 1989.0 е приета за основна (начало), тъй като това е годината на първото ETRS решение, и по тази причина координатната система е наречена ETRS89 и е приета като официална геодезическа референтна система в Европейския съюз. Благодарение на изграждането и функционирането на Европейската перманентна мрежа (EPN/ European Permanent Network) координатната система на практика е четиридименсионална.

Поради движението на Евроазиатската континентална плоча координатите на Европейските станции се променят с около 25 mm/у в координатната система ITRS. За да се избегне това значително изменение на координатите във времето, е решено ETRS89 да се движи/ротира заедно със стабилната част на Евразия, така че съотношенията между станциите да се запазват. С министерско постановление и Наредба № 2 от 30 юли 2010 г. за дефиниране, реализация и поддържане на Българската геодезическа система, ДВ, бр. 62, 10.08.2010 г., координатната система ETRS89 е официално приета като част от Българската геодезическа система 2005 (БГС2005). Годината 2005 обозначава епохата на приетите координати на точките от Държавната GPS мрежа.

1.1.2.3. Стратегия при обработката и анализа на GPS/GNSS измервания за определяне на координати и скорости

Обработката и анализът на GPS/GNSS измервания за получаване на координатите и скоростите се извършва в Международната земна координатна система ITRS. Получените резултати (координати и скорости) се трансформират в Европейската земна координатна система ETRS89, по-точно в нейната последна реализация ETRF_{уу}, по процедура, описана подробно в Claude Boucher and Zuheir Altamimi (2012), Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign, Version 8: 18-05-2011, <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V8.pdf>. Стратегията, която трябва да бъде приложена при обработката и анализа на GNSS измерванията, е необходимо да се базира на последните постижения в областта на континенталните и националните мрежи и на обработката и анализа на данните от Европейската перманентна мрежа, както и станциите на Международната GNSS служба.

Основните принципи при обработката и анализа на GPS/GNSS измервания в общоприетата в Европа координатна система ETRS89 при използването на перманентните EPN станции и продуктите на IGS – прецизни ефемериди на спътниците и координати на полюса, могат да се формулират по следния начин (Boucher, Altamimi, 2012):

1. Данните се обработват в ITRS за епохата на наблюдение. Използва се последната реализация на ITRS и прецизните ефемериди и координати на полюса. Референтните станции се трансформират за епохата на наблюдение с

използване на техните скорости. Получените резултати са хомогенни с ITRF_{yy} за епохата на наблюдение.

2. Координатите се трансформират в ETRS89.

На територията на България като изходни могат да се използват станциите от Европейската перманентна мрежа (EPN), от съществуващите в страната инфраструктурни перманентни GNSS мрежи и точки от Държавната GPS мрежа. Съвременни движения на земната кора се получават и от обработка и анализ на периодични GNSS измервания на специализирани геодинамични мрежи в особено активни тектонски райони, както и от GNSS измерванията на Държавната GPS мрежа на България. Като методическо ръководство за обработка и анализ на GPS/GNSS измервания за определяне на вискоточни координати и скорости могат да се използват монографиите на Георгиев и др. (2006) и Георгиев и др. (2007). Двете монографии описват подробно методиката за обработката и анализа на измерванията от Основния и Второстепенния клас на Държавната GPS мрежа на Република България за получаване на координати и скорости на точките.

1.1.2.4. Научноизследователски софтуер за обработка и анализ на GPS/GNSS измервания

Обработката и анализът на GNSS измерванията за получаване на съвременни движения и напрежения на земната кора трябва да бъдат извършвани с научноизследователски софтуер, отразяващ последните постижения в областта и позволяващ получаване на координатите и скоростите на GNSS станции и точки от земната повърхност с висока точност. Понастоящем това са:

- GAMIT/GLOBK, разработен в Масачузетския технологичен институт;
- Bernese, разработен в Астрономическия институт в Берн;
- Gipsy/Oasis, разработен в Лабораторията за реактивни двигатели, Пасадена.

1.1.2.5. Получаване и анализ на полето на хоризонталните и вертикалните движения на земната кора

Съвкупността от получените хоризонтални скорости, определени от перманентни или периодични GNSS измервания на станции/точки от земната повърхност, дефинира полето на хоризонталните скорости. Територията на България се намира на границата на Евразийската континентална плоча и сеизмично активната Егейска екстензионна зона. В този смисъл анализът на полето на получените хоризонтални скорости на земната кора трябва да се разглежда в контекста на активните тектонски процеси, протичащи в района на Източното Средиземноморие.

С оглед особеностите на полето на хоризонталните скорости на територията на страната, както и територията на изследвания район, задачата за получаване и анализ на полето на хоризонталните скорости може да бъде разделена на регионална (за област с радиус от десетки до стотици километри, включваща и региона с национален обхват) и локална (касаеща локален район, евентуално свързан с конкретен обект). На базата на получените хоризонтални скорости се определят тенденциите и закономерностите на хоризонталните движения на земната кора в съответния регион.

При определяне на вертикалните движения на земната кора трябва да се има предвид, че те са (обикновено) на порядък по-малки по абсолютна стойност от хоризонталните, съответно тяхното определяне изисква по-дълъг период от време. Вертикални скорости на точките от земната повърхност се получават от обработката и анализа на GPS/GNSS измервания от перманентни и периодично измервани станции/точки. Независим контрол на вертикалните движения, получени от анализа на GPS/GNSS измервания, може да се извърши чрез сравнението им с вертикалните скорости, изведени от многократни нивелачни измервания на репери от Държавната нивелачна мрежа. Те се представят обикновено като карти на вертикалните движения и тъй като са отнесени към някой от фундаменталните векови репери, могат да служат за контрол на *относителните* вертикални движения. На базата на получените вертикални скорости се определят тенденциите и закономерностите на вертикалните движения на земната кора в съответния регион.

Интегрирането на полученото поле на хоризонталните и вертикалните движения на земната кора за съответния район – от национален до локален мащаб, с геоложката, тектонската и сеизмичната информация е ключов елемент за създаване на сеизмотектонски модели и за оценка на сеизмичния риск.

1.1.2.6. Положение на територията на България в контекста на активните тектонски процеси в Източното Средиземноморие

Получаването на съвременни движения на земната кора не може да бъде ограничено в рамките на държавните граници, така както не може да бъде ограничена и съвременната тектоника. Това важи особено за територията на България, намираща се в северната част на т.нар. Егейския екстензионен район.

Тектонската обстановка в Източното Средиземноморие е доминирана от колизията на Арабската и Африканската плоча с Евроазиатската (McKenzie, 1970; Jackson, McKenzie, 1984, 1988; Jackson, 1992). Моделите за движение на континенталните плочи показват, че Арабската плоча се движи в север-северозападна посока спрямо Евразия със скорост от около 18–25 mm/y. Африканската континентална плоча се движи в северна посока спрямо Евразия със скорост от около 10 mm/y. Водещият ръб на Африканската плоча се подпхва (субдукция) по Гръцката дъга под Егейската микроплоча.

Сложното взаимодействие на плочите и свързаните с тях деформации на земната кора в Източносредиземноморския регион се изразява в многото разрушителни земетресения през целия исторически период на регистрирането им. McKenzie (1970) и Jackson and McKenzie (1988) определят границите на микроплочите – Егейска и Анадолска, които се движат с различни скорости, и на екстензионна зона с посока север-юг в Западна Турция, разделяща тези две плочи. Територията на България се намира в северната част на Егейския екстензионен район, като територията на Южна България изпитва екстензионни напрежения с посока север-юг.

Блоквата структура в района на Източното Средиземноморие е детайлно разгледана от Vernant et al. (2014). Резултатите са получени от обработка и анализ на голям брой перманентни и периодично измервани GPS/GNSS станции, както и от геоложка, тектонска, геоморфоложка и сеизмична информация. Измерванията обхващат периода 1994-2014 г. Резултатите за територията на страната показват, че Северна България, територията на север от Стара планина, е част от Евроазиатската континентална плоча и е с пренебрежимо малки хоризонтални скорости. Резултатите потвърждават съществуването на т.нар. Южнобалкански екстензионен район и потвърждават концепцията за съществуването му, направена основно по геоложки и тектонски данни (Burchfiel et al., 2006) и потвърдена от GPS измервания (Georgiev et al., 2011). Съгласно получения модел южната граница на Евроазиатската плоча следва приблизително Стара планина. Счита се, че Южнобалканският екстензионен район е преходът между Евразия и Егейската микроплоча на юг и Анадолската на югоизток.

Южнобалканският екстензионен район обхваща територията на Южна България, достигайки на юг до Халкидическия полуостров и на югоизток до северозападните разклонения на Северноанадолския разлом. Получените за България и Северна Гърция резултати за хоризонталните движения на земната кора показват обща тенденция на движение в посока юг, като скоростите нарастват от района на Централна България (Стара планина) от 1–2 mm/y до 10 mm/y в района на Халкидическия полуостров. Нарастването на скоростите от север на юг потвърждава екстензионния режим в същата посока в цялата област.

Локализирането на Южнобалканския екстензионен район е от важно значение за анализа на полето на хоризонталните движения на земната кора при изследвания от национален до локален мащаб. Изборът на подходяща методика за получаване на полето на хоризонталните и вертикалните скорости зависи на първо място от това дали изследваният район се намира в Северна или Южна България.

1.1.2.7. Методика за получаване и анализ на полето на хоризонталните и вертикалните движения на земната кора с регионален обхват

Геодезическите (GPS/GNSS) резултати са количествена оценка на съвременните движения на земната кора. По тази причина анализът на полето на хоризонталните и вертикалните движения трябва да включва използването на геоложка, тектонска и сеизмотектонска информация с оглед да бъде получена цялостна и реална картина, която да се използва за изясняване на съвременната тектоника на изследвания район. Практиката на геокинематичните и геодинамичните изследвания през последните десетилетия и получените резултати определят методологично няколко стъпки при планиране на дейностите и получаването и анализа на полето на съвременните движения на земната кора. Те могат да бъдат обобщени по следния начин:

- определяне обхвата на изследвания район, неговото местоположение и наличието на перманентни и/или периодично измервани GPS/GNSS станции/точки с определени скорости;
- геоложка характеристика на изследвания район и (евентуалното) наличие на съвременно активни тектонски и/или сеизмогенни структури;
- при необходимост, изграждане на нови точки и планиране на GPS/GNSS измервания;
- обработка и анализ на налични и (евентуално на) нови GPS/GNSS измервания и получаване на хоризонталните и вертикалните скорости;
- получаване полето на хоризонталните и вертикалните скорости;
- получаване на гريد с хоризонталните и вертикалните движения с разрешаваща способност в зависимост от гъстотата на използваните GPS/GNSS станции/точки;
- използване на информация за вертикални движения на земната кора от „карти на вертикалните движения“, получени от многократни нивелачни измервания;
- анализ на полето на хоризонталните и вертикалните скорости с използване на геоложка, тектонска и сеизмотектонска информация;
- изводи и заключения за характера на полето на хоризонталните и вертикалните движения и тектонската активност в изследвания район;
- на базата на полученото поле на скоростите и характера на движенията се правят изводи за тектонското поведение на изследвания район: потвърждаване или отхвърляне на геоложки хипотези; заключения за наличие или отсъствие на активни разломни структури и дислокации.

На територията на България налични измервания от перманентни GPS/GNSS станции могат да се получат от съществуващите в страната инфраструктурни перманентни GNSS мрежи – на НИГГГ (<http://www.niggg.bas.bg>), некомерсиална научноизследователска мрежа, и две, сертифицирани от Агенцията по геодезия, картография и кадастър, комерсиални перманентни мрежи – СмартБулНет

(<http://www.naviteq.net>) и ГеоНет (<http://www.geonet.bg>). Измерванията и резултатите от обработката и анализа на измерванията на Държавната GPS мрежа са отговорност и собственост на Военно-географската служба на Българската армия, а геодинамични мрежи на територията на страната се измерват и поддържат от НИГГГ.

При анализа на полето на хоризонталните и вертикалните скорости е необходимо да се използва *наличната геоложка, тектонска и сеизмотектонска информация за съответния район*. Това включва:

- Карта на кватернерните разломи;
- Карта на съвременните активни разломи;
- Всички достъпни геоложки литературни данни за геологията на изследвания район;
- Сеизмични данни за изследвания район, включително механизми на сеизмични събития и данни за разломни структури, генериращи земетресения.

Особености на получените вертикални движения на земната кора от обработка на многократни нивелачни измервания

Вертикални движения на земната кора могат да бъдат получени и чрез многократна високоточна геометрична нивелация – чрез периодично измерване на отделни репери, линии или полигони. Чрез сравнение на измерените превишения между идентични репери в различни епохи се получава информация за характера и стойностите на тези движения. Резултатите се представят обикновено чрез т.нар. карти на вертикалните движения, съставени чрез площна интерполация на получените скорости на нивелачните репери. По принцип във всички карти вертикалните движения са отнесени към някакво изходно начало, обикновено фундаментален нивелачен репер. С други думи, получените вертикални движения са относителни. Вертикални движения, получавани чрез GNSS технологията, се определят в Международната земна координатна система (ITRS) и Европейската земна координатна система (ETRS89) и в този смисъл са абсолютни. По тази причина получените от повторни нивелачни измервания вертикални движения трябва да се използват за качествена/относителна оценка и в райони, където гъстотата на GNSS точките е недостатъчна или липсва.

1.1.2.8. Методика за получаване и анализ на полето на хоризонталните и вертикалните движения на земната кора за локален район

Определянето на полето на съвременните движения на земната кора за локален район трябва да се подчинява на същите принципи, на които и определянето му за даден регион.

Основната разлика идва от предположението, че в един локален район най-вероятно липсват перманентни или периодично измервани GPS/GNSS станции/точки с известни скорости и/или измервания. Този факт води до две основни хипотези:

1. Локалният район не съдържа съвременно активни разломни структури по геоложки и сеизмотектонски данни. Това би дало възможност да се използват данни за съвременните движения на земната кора за регион, който обхваща локалният район, т.е. би позволило използването на литературни данни за полето на хоризонталните и вертикалните движения. При наличие на регионално изследване за съвременните движения те могат да бъдат интерполирани за локалният район.
2. Локалният район съдържа съвременно активна структура/структури. Ако съществува регионално изследване и то съдържа данни за полето на съвременните движения, използването му е препоръчително.

В случай че не съществуват данни за съвременните движения на земната кора, трябва да се проектира и изгради геодезическа GNSS мрежа в района, а при необходимост и нивелачна мрежа за мониторинг на вертикалните движения. Мрежите трябва да обхващат оптимално активната структура/структури. Трябва да се има предвид, че получаването на съвременните движения на земната кора, отчитайки стойностите на хоризонталните и вертикалните движения, преобладаващи на територията на България, е дълговременен процес, изискващ като минимум едногодишен период на/между измерванията.

1.1.2.9. Получаване на напреженията на земната кора и локализиране на активни разломни структури

На базата на получените хоризонтални скорости на GNSS точките, перманентни или периодично измервани, се изчисляват напреженията на земната кора в страната и околните земи, както и в различни региони и области, подлежащи на изследване. Тези напрежения отразяват бавните, тектонски, интересеизмични напрежения на земната кора. На базата на полето на напреженията и получените ъглови деформации се търсят и евентуални ротации на блокови и разломни структури.

Методиката за получаване полето на напреженията на базата на изчислените скорости не изисква идентифициране на областта на изследване според нейния обхват. Методиката може да бъде приложена и към регионална, и към локална област, при положение че се разполага с GNSS точки с определени скорости с достатъчна гъстота. На базата на скоростите и напреженията се определят тенденциите, закономерностите и разпределението им в съответния регион или област. Получените напрежения и техните изменения във времето позволяват

лесно локализиране на аномални области и оценка на съвременната активност на тектонските структури.

1.1.2.10. Локализиране на съвременно активни разломни структури

Информацията за полето на скоростите и напреженията и техните изменения във времето за изследвания район е ключова за локализиране на съвременно активни¹ разломни структури. Получените от GNSS/GPS анализа резултати – скорости и напрежения, са факторът, който доказва или отхвърля геоложки и тектонски хипотези, особено що се отнася до локализиране на съвременно активни структури. За локализиране на тези структури в района на изследване е необходимо последователно да се изготвят анализи:

- на наличната геоложка и тектонска информация;
- на сеизмичните данни – честота и магнитуди на сеизмичните събития, механизми на сеизмични събития и разломните структури, по които те са се реализирали;
- на геофизичната информация (гравиметрични и магнитни данни);
- на полето на хоризонталните и вертикалните скорости и техните тенденции;
- на получените напрежения и ъглови деформации и техните изменения във времето.

1.1.2.11. Създаване на база данни за съвременните движения и напрежения на земната кора за изработване на сеизмотектонски модел

Резултатите от получените съвременни движения на земната кора – хоризонтални и вертикални, както и изчислените от тях напрежения и ъглови деформации, се съхраняват в база данни и се използват при създаване на сеизмотектонския модел на изследвания район и оценка на сеизмичната опасност. Информацията за съвременните движения на земната кора, необходима за създаване на сеизмотектонския модел, независимо дали се отнася за регионално или локално изследване, включва:

1. Координати и скорости на перманентните станции и/или периодично измервани точки с техните средни квадратни грешки, получени от обработка и анализ на GNSS измервания. Координатите и скоростите на станциите/точките могат да бъдат или правоъгълни геоцентрични – X, Y, Z, или геодезически – В (ширина), L (дължина) и Н (елипсоидна височина) координати, отнесени към официално приетия в България (международно приет) референтен елипсоид. При интерпретацията на резултатите за по-голямо удобство се използват геодезическите координати и съответно скорости.

¹ В геодезическата практика под съвременно активна разломна структура се разбира структура, по която се наблюдават движения.

Таблица 1.1.2-1. Координати на GNSS точките с известни скорости

Име/номер на станция/точка	B dd mm ss.xxxx	L dd mm ss.xxxx	H [m] sss.xxx	σ_B [mm]	σ_L [mm]	σ_H [mm]

Таблица 1.1.2-2. Скорости (хоризонтални и вертикални) на GNSS станциите/точките

Име/номер на станция/точка	Север (N) [mm]	Изток (E) [mm]	Височина (U) [mm]	σ_N [mm]	σ_E [mm]	σ_U [mm]

- При достатъчна гъстота на точките с известни скорости се построява грид на хоризонталните и вертикалните скорости. И двата грида се съхраняват обикновено като неформатни файлове с информация за: координатите на левия горен ъгъл на грида (северозапад), нарастването на грида в източна и южна посока и броя на клетките в двете посоки. При отсъствие на активни разломни структури гридът на хоризонталните и вертикалните скорости може успешно да се използва за получаване на скоростите във всяка точка на изследвания район.
- Дигитализирана карта на вертикалните движения на земната кора, получена от многократни нивелачни измервания. Тази карта (препоръчва се последната – Беляшки, 2012) позволява да се интерполират вертикалните движения във всяка точка на изследвания район при отсъствие на информация за тях от GNSS измервания или за да бъде извършен независим контрол на движенията, получени от перманентните или периодично преизмерваните GNSS станции/точки.
- Напрежения на земната кора. При достатъчна гъстота на GNSS точките с определени хоризонтални и вертикални скорости в изследвания район от тях се изчислява тензорът на напреженията. В повечето случаи той се изчислява за центровете на тежестта на триъгълниците, формирани от GNSS точките, и се представя като хоризонтална (напрежения) и ъглова деформация. Напреженията са бездименционална величина и се представят най-нагледно върху карта на изследвания район в микронапрежения за година ($\mu\text{strain/yr}$). Ако гъстотата на GNSS точките позволява, най-добре е да бъде създаден грид за хоризонталните и ъгловите деформации с подходяща стъпка (нарастване в южна и източна посока). Така полученият грид с напрежения и ъглови деформации позволява да бъдат интерполирани напреженията/деформациите за всяка точка от изследвания район.

1.1.2.12. Научноизследователски публикации, касаещи обработката и анализа на GPS/GNSS измервания за изследване на съвременната кинематика и геодинамика и получаване на напреженията и ъгловите деформации на земната кора

Значителен брой публикации през последните години третират получаването на съвременни движения и напрежения на земната кора от GPS/GNSS измервания за изследване на съвременната тектоника и геодинамика. Районът на Източното Средиземноморие, един от най-активните тектонски и сеизмотектонски райони, обхваща и територията на България. В цитираната по-долу литература са дадени някои публикации, които могат да бъдат използвани успешно за отчитане и прилагане на последните постижения при определяне на съвременните движения на земната кора, полето на скоростите и неговия анализ.

1.1.2.13. Актуалност на методиката

Описаната методика за получаване полето на хоризонталните и вертикалните скорости и напреженията и ъгловите деформации на земната кора отчита последните постижения в областта на приложението на GNSS технологиите за определянето им с висока точност и дава насоки за техния анализ. Използването на вертикални движения, определени чрез повторна нивелация и представени като карти на съвременните вертикални движения, трябва да се използва при липса на данни от GNSS измервания и при описаните по-горе условия. Изложената методика е успешно прилагана за получаване полето на хоризонталните и вертикалните движения и напрежения на земната кора на територията на България и околните земи. Получаваните по този начин съвременни движения са ключов елемент от анализа и оценката на сеизмичния риск.

1.1.3. Сеизмологична база данни и хомогенизиран деклъстеризиран каталог

- При създаване на сеизмологична база данни за даден регион трябва да се отчитат сеизмотектонските особености на региона и практическата задача, за решението на която се използва тази база от данни.
- Генериране на файл с историческа сеизмичност, за която на няма инструментални записи (за България сеизмичността, реализирана преди 1900 г.). Историческата сеизмичност трябва да обхваща максимално голям период от време и да се простира толкова назад във времето, колкото е възможно.

Информацията за всяко земетресение (в генерирания файл) трябва да включва:

- дата на събитието (година, месец, ден);
- локализация на макросеизмичния епицентър (координати);
- максимална интензивност;

и ако е възможно,

- време на възникване (час, минута);
- оценка за фокалната дълбочина (в km);
- оценка за магнитуд;
- оценка за точността на определяне на горните параметри;
- оценка за качеството и количеството на данните, използвани за оценка на горните параметри.

Използваната интензивностна скала трябва да бъде уточнена. Магнитудът и фокалната дълбочина могат да бъдат допълнително оценени чрез съответни емпирични релации между инструменталните данни и макросеизмичната информация.

Параметрите на земетресенията се определят на базата на:

- наличната каталогизирана информация;
- допълнителни писмени сведения;
- историческа и археологическа информация. Тези сведения и данни се извличат от исторически, предимно писмени документи, древни книги, надписи, хроники, приписки, рисунки, предания и др. Някои данни се получават при археологически разкопки и от палеосеизмологични изследвания, но при последните датировката на събитията е затруднена.
- Генериране на файл със сизмологични данни за земетресенията, реализирани след 1900 г. (покриващ ранноинструментален и инструментален период).

Информацията за всяко земетресение (в генерирания файл) трябва да включва:

- дата на събитието (година, месец, ден);
- време на възникване (час, минута, секунда);
- епицентър на събитието (координати на епицентъра);
- фокална дълбочина (в km) – хипоцентър на събитието;
- всички налични магнитудни оценки (магнитудни оценки по различни скали) и ако са налични, оценки за сеизмичен момент и свалено напрежение;
- размери и геометрия на на фор-афтършокова зона (ако са налични);
- друга информация, която може да се използва за опознаване сеизмотектонския режим на изследвания регион като: решения на фокалните механизми, оценка на свалено напрежение и други параметри на сеизмичния източник;
- детайлна макросеизмична информация (ако е налична);
- оценка за точността на определяне на горните параметри.

Параметрите на земетресенията се определят на базата на:

- налична каталогизирана информация;
- допълнителни писмени сведения за периода до 1970 г. ;

- допълнителна информация от международни и национални сеизмологични центрове за периода след 1970 г.
- Съпоставяне и съвместяване на файловете със земетресения, реализирани през исторически, ранноинструментален и инструментален период – формиране на обща база данни за земетресения, генерирани в разглеждания регион.
- Компилиране на сеизмологичен каталог – таблица от хронологично подредени исторически и инструментално регистрирани сеизмични събития. Сеизмологичният каталог се създава на основата на компилираната сеизмологична база данни за изследвания регион.

Каталогът трябва да съдържа всички задължителни параметри за сеизмичните събития, както и допълнителната информация, която да се използва за дефиниране сеизмотектонския режим на изследвания регион.

- В компилирания каталог се хомогенизират магнитудните оценки (M) и оценките за макросеизмична интензивност (I_0/I_{max}).

Привеждане на магнитудните оценки към магнитуд по сеизмичен момент (M_W) може да се реализира чрез релации от вида $M_W = F(M)$, каквито са зависимостите, представени напр. в изследването на Scordilis (2006).

За хомогенизация на интензивностните оценки (привеждане към MSK 64) се прилага номограма, свързваща съществуващи скали (прилагани от края на XIX до началото на XXI в.) с MSK 64, представена в Shebalin et al. (1974).

- Каталогът се деклъстеризира, като се:
 - разпознат и изключат дублираните събития и сеизмичните събития, които са резултат от антропогенна дейност;
 - разпознат и маркират фор-афтършоковите събития.

Най-често използваният подход за идентифициране на афтършокови събития е чрез прилагане на магнитудно зависимия, пространствено-времеви прозорец, предложен за Балканския регион от Christoskov, Lazarov (1981).

Друг подход за разпознаване на афтършокови събития е чрез определяне продължителността на афтършоковата активност (представен в Ogata, Shimazaki, 1984.)

- Изследване пълнотата на каталожната информация в хомогенирания и деклъстеризиран каталог.

Пълнотата на каталожните данни може да се изследва чрез прилагане на метода на Stepp (1972) и/или метода на “наклона” (Hakimhashemi, Grünthal, 2012).

Въз основа на оценката за пълнотата на каталожните данни се определят времевите интервали, за които земетресенията от даден магнитуден клас са напълно отчетени. Статистическите оценки на сеизмичността в даден регион

трябва да се основават на каталог, който е пълен за разглеждан период от време за магнитуди в даден магнитуден интервал. Използването на каталог, който не е пълен, ще води до некоректни оценки за сеизмичността на региона, а оттам и некоректност на всички следващи оценки, основаващи се на сеизмичността – на сеизмичната опасност и на сеизмичния риск.

1.2. СЪЗДАВАНЕ НА СЕИЗМОТЕКТОНСКИ МОДЕЛ

Сеизмотектонският модел е конфигурация на геоструктурите в даден регион, способни да генерират земетресения, или това е характеристичен модел на сеизмичните източници в региона, включващ алеаторните и епистемичните неточности в определяне на техните характеристики. Сеизмотектонският модел се създава въз основа на обща база данни, получена от изследванията за даден регион. Наличната сеизмотектонска информация може да бъде различно интерпретирана от отделни експертни групи, т.е. за региона може да се генерират повече от един сеизмотектонски модели, които да бъдат включени в логическата схема.

Стандартната процедура е интегриране на елементите на геолого-геофизичната и сеизмологичната база данни, като се включи и допълнителна информация (напр. за действащите напрежения) с цел създаване на модел, състоящ се от дискретен набор сеизмогенни структури и области с дифузна сеизмичност. Сеизмогенната структура е геоструктура, разлом или разломна зона с проявена сеизмична активност или с исторически (или палеосеизмични) данни за повърхностно разкъсване. Тази структура може да генерира силни земетресения с определен период на повторяемост. Областите с дифузна сеизмичност включват сеизмичността, която не може да се привърже към структурите, идентифицирани въз основа на наличната геолого-геофизична база данни.

- Входната информация за създаване на сеизмотектонски модел включва:
 - конфигурация на активните разломи, идентифицирани по геоложки данни в изследвания регион;
 - конфигурация на разломите, дефинирани по геофизични данни в изследвания регион;
 - GPS данни за изследвания регион – активността на разломите се потвърждава или отхвърля от наличната геодезична информация;
 - хомогенен, деклътаризиран каталог на независими земетресения, генерирани в разглеждания регион.
- Интегрирането на данни е процес, при който се комбинират данни от различни източници с цел да се предостави на потребителя унифицирана информация.

За интегриране на данните, които са необходими за конструирането на сеизмотектонски модел (въз основа на който се създава модел на сеизмичните източници), е необходимо да се следва следната процедура:

- Извличане и подбор на необходимите входни данни от формираните бази данни – геоложка, геофизична и сеизмологична;
- Включване на допълнителна информация: решение на механизмите на земетресенията, геодезична информация (които дават информация за съвременните движения и напрежения на земната кора) и др. Оценката на съвременните движения и напрежения в земната кора дава възможност да се определят деформациите от глобален до локален мащаб. Тази информация позволява да се разграничат краткотрайните движения по време на земетресения от дълговременните тектонски деформации;
- Обработка на входните данни с цел да се извлече необходимата информация за идентифициране на възможните сеизмогенни структури;
- Изчистване на данните – премахване на дублирани данни;
- Трансформация и параметризация на данните – привеждане в единна координатна система, унифициране на мерните единици и скали;
- Представяне на всички входни данни в геореферирани вид в единна координатна система;
- Прилагане на компютърни технологии – надеждно средство за интегриране на основните бази данни.

Представянето на информацията в GIS среда е един много ефективен инструмент за интегриране и картографиране на входните бази данни.

Така създаденият сеизмотектонски модел е основата за компилиране на модел на сеизмичните източници – основен вход за оценка на сеизмичната опасност.

1.3. ГЕНЕРИРАНЕ НА МОДЕЛ НА СЕИЗМИЧНИТЕ ИЗТОЧНИЦИ (ИДЕАЛИЗАЦИЯ НА СЕИЗМОТЕКТОНСКИЯ МОДЕЛ)

Сеизмотектонският модел е от съществено значение за прехода от общата регионална база данни (включваща геолого-геофизична, геодезична и сеизмологична информация) към моделиране на сеизмичните източници, които са в основата на оценката на сеизмичната опасност. Моделът на тези източници е схематично представяне на сеизмотектонския модел във форма, позволяваща директното му прилагане в оценката на сеизмичната опасност.

На базата на един сеизмотектонски модел може да се създаде повече от един модел (алтернативни модели) на сеизмичните източници.

Сеизмичен източник е област, характеризираща се с подобие на геоложкия строеж и реализирана сеизмичност. Сеизмичните източници се определят на основата на сеизмотектонския модел, създаден за съответния регион.

1.4. ДЕФИНИРАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА СЕИЗМИЧНИТЕ ИЗТОЧНИЦИ

Надеждната оценка на сеизмичната опасност в даден регион изисква предвиждане на пространственото, енергетичното и времето разпределение на бъдещите земетресения, както и адекватното моделиране на геометрията на сеизмичните източници, която е директно свързана с конфигурацията на сеизмотектонския модел.

- За всички елементи на сеизмотектонския модел (сеизмогенни структури и зони с дифузна сеизмичност) се дефинира геометрия (пространствени характеристики);
- За елементите на сеизмотектонския модел се оценява магнитудно-честотна зависимост (закона на Gutenberg and Richter, 1942, или график на повтораемост, който се дефинира чрез релацията: $\log N=a-bM$), като се посочи магнитудният интервал, за който тази релация е приложима. Параметрите a и b на магнитудно-честотна зависимост най-често се оценяват по Метода на най малките квадрати (МНК) или Метода на максималното правдоподобие (ММП), като за предпочитане е оценката по ММП;
- Неточностите в оценката на параметрите на магнитудно-честотната зависимост трябва да се дефинират с вероятностни разпределения, които отчитат всички връзки между тези разпределения. Грешките в параметрите, получени по МНК, не трябва да се използват за оценка на неточностите поради факта, че нямат статистически смисъл;
- За елементите на сеизмотектонския модел (сеизмогенни структури и зони с дифузна сеизмичност) се определя максимален потенциален магнитуд M_{\max} на очакваните земетресения, който може да бъде оценен на базата на:
 - Сеизмологична информация – каталог на земетресенията, съдържащ достатъчно информация за продължителен период от време в голям магнитуден интервал и висока сеизмична активност;
 - M_{\max} , оценен въз основа на магнитуда на максималното наблюдавано историческо или съвременно земетресение плюс инкремент ΔM ($M_{\max}+\Delta M$), съобразен с точността на магнитудните определения за съответния времеви период;
 - Геоложка информация, прилагайки емпирични зависимости, свързващи M_{\max} напр. с дължината на разлома, породил земетресението (могат да се използват и други характеристики на разломите). Най-често прилаганите емпирични релации са зависимостите, представени например в работата на Wells and Coppersmith (1994), получени въз основа на богата база световни данни;

- В практиката често се прилага подходът на “експертно решение”, който се базира на наличната геоложка информация, историческа и съвременна сеизмичност и/или магнитудно-честотната зависимост за земетресенията, генерирани в съответния сеизмичен източник.

Стойността на M_{\max} се използва като горна граница за интегриране при вероятностния анализ, за оценка параметрите на магнитудно-честотната зависимост, както и при детерминистичната оценка на опасността.

Неточностите в оценката на M_{\max} трябва да се опишат с дискретни или непрекъснати вероятностни разпределения.

- За всеки сеизмичен източник се задават разпределенията на земетресенията в пространството, по магнитуд и във времето. За моделиране пространствено-времето и енергетичното разпределение на земетресенията и коректно оценяване параметрите на тези разпределения е необходимо използване на хомогенен, деклъстеризиран каталог на независими земетресения.

Разпределение в пространството:

- За площни източници обикновено се приема равномерно разпределение. За моделиране на неравномерно разпределение могат да се дефинират подизточници с по-висока или по-ниска сеизмична активност;
- Земетресенията по линеен източник се разглеждат като „разломяване” с размери (дължина и широчина), зависещи от магнитуда на земетресението. Възможните „разломявания” се приемат за равновероятни. Размерите на „разломяването” се оценяват по емпирични релации в зависимост от сеизмотектонските характеристики на района, в който е разположен източникът. Освен дефинирането на проекцията на източника на земната повърхност трябва да се оцени и ъгълът на залягането му (dip angle). Тези параметри са необходими за определяне пространствените характеристики на разломяването и разстоянията до площадката;
- Дълбочината трябва да се разглежда като алеаторна неопределеност и се задава със съответно (обикновено дискретно) разпределение.

Разпределение по магнитуд:

- За площни източници се приема отсечено експоненциално разпределение с граници минимален магнитуд от инженерна значимост – максимално очаквания за източника магнитуд. Минималният магнитуд може да варира в зависимост от минималното разстояние от източника до изследваната площадка;
- За линеен източник (моделиращ разлом) може да бъде разглеждан и модел с характеристично земетресение. Параметрите на сеизмичността се оценяват само по земетресения, свързани с моделирания разлом. Друг подход за оценка е по геоложки и/или геодезични данни;

- Препоръчително е моделите с характеристично земетресение да се включват в логическото дърво с по-малко тегло от модела с експоненциално разпределение;
- Възможно е да се използва тригерен модел, но поради недостатъчно данни за надеждна оценка на параметрите му не се препоръчва за научно-приложни изследвания.

Разпределение във времето:

- За площни източници се използва Поасоново разпределение на земетресенията във времето;
- За линейни източници е възможно да се използват и времево зависими модели, но на този етап за научно-приложни изследвания не се препоръчва.

1.5. ИЗБОР НА РЕЛАЦИИ ЗА ЗАТИХВАНЕ НА ЗЕМНИТЕ ДВИЖЕНИЯ

Затихване на сеизмичните вълни – намаляване на амплитудите на сеизмичните вълни при разпространението им от земетръсното огнище до дадена точка, отдалечена на определено разстояние от огнището. Обикновено затихването се представя чрез съответни криви (закони, модели) на затихването, които са функция на магнитуда M , на разстоянието до източника и други параметри (механизъм на земетресението, инженерно-геоложка характеристика на площадката и др.).

Прогностичните релации за земните движения (Ground Motion Prediction Equations/ GMPEs), или релации (закони) за затихване, са средство за прогнозиране на нивото на земните движения заедно с техните неопределености в зависимост от магнитуда, разстоянието земетръсен източник–площадка, локалните почвени условия, механизма на реализация на земетресенията и др. Законите за затихване се използват ефективно както за детерминистичен, така и за вероятностен анализ на сеизмичната опасност. В момента най-често използваните интензивностни мерки за земните движения са: максимално земно ускорение, максимална земна скорост, спектрални ускорения, макросеизмична интензивност.

Най-общо, анализът на сеизмичната опасност е свързан с оценката на земното движение на дадена площадка вследствие на множество от земетръсни сценарии. Всеки сценарий се дефинира чрез магнитуд на земетресението и разстоянието от сеизмичния източник до площадката. Стойността на избран параметър на земното движение (максимално и спектрално ускорение, максимална скорост, интензивност и др.) се изчислява (прогнозира) от закон (модел) за затихване на избрания параметър – $\ln Y = f(m, r, c_i)$, функция на магнитуда m , разстоянието r . От съществено значение е, че законът за затихване не задава фиксирана стойност на избрания параметър на земното движение, а дефинира медианна стойност и дисперсия на неговото разпределение. Това

означава, че за всеки вектор (m, r, c_i) очакваната стойност на параметъра е случайна величина със съответно разпределение, т.е. $\ln Y = f(m, r, c_i) \pm \sigma$, което се приема за логнормално. По този начин всеки сценарий се дефинира чрез вектор (m, r, c_i, α) , където α задава отклонението от медианната стойност $f(m, r, c_i)$ и обикновено се задава в части от σ , т.е. $\alpha = \varepsilon \sigma$. Съвременните оценки на сеизмичната опасност разглеждат тази „недетерминираност“ на Y с m, r и c_i като интегрална част при всяка оценка (Bommer, Abrahamson, 2006). Съществен параметър на законите за затихване е стандартната девиация. Най-общо, стойностите на стандартната девиация σ зависят от критериите за селекция, количеството и качеството на входните данни и до голяма степен отразяват неопределеността, заложена в едно сложно природно явление, представено със силно опростен модел.

Епистемичните (моделните) неточности трябва да се включват в анализа на сеизмичната опасност чрез прилагане на няколко релации за затихване на земните движения, подходящи за сеизмотектонските особености на изследвания регион.

При оценка на сеизмичната опасност за територията на България трябва да се отчитат две съществени особености:

1) Силните плиткi земетресения са реализирани през прединструментален и ранноинструментален период (т.е. съвременната сеизмичност е от слаби до умерени събития с магнитуд по-малък от 6.0) и поради недостатъчното количество налични данни до настоящия момент не са получени модели за затихване на максималните и спектралните ускорения. Поради тази причина за плитката сеизмичност се използват емпирични модели за затихване, получени въз основа на богата и хомогенна база от инструментални данни за силни движения, регистрирани в райони със сходни геоложки и сеизмотектонски характеристики.

2) За голяма част от територията на Северна България най-силните сеизмични въздействия са резултат от междиннофокусните земетресения, генерирани от сеизмичен източник Вранча, Румъния.

- Първа стъпка при избор на релации за затихване на земните движения е извличане и подбор на необходимите модели за прогнозиране на затихването от: 1) плиткi (корови) силни земетресения; 2) силни междиннофокусни земетресения, генерирани от сеизмичен източник Вранча, Румъния.
- Релациите за затихване на земните движения, използвани за оценката на сеизмичната опасност, трябва да отговарят на следните критерии:
 1. Да са актуални и установени за времето на изследването;
 2. Да са описани данните, по които законът е получен: магнитуден интервал; интервал по разстояния и др.;

3. Използваните закони трябва да са приведени към една и съща компонента (максималната от двете регистрирани компоненти, средно геометрично, случайна компонента и др.);
 4. Да са в съответствие с типа на земетресенията и регионалните особености на затихване;
 5. Да отразяват във възможно най-голяма степен тектонските особености на разглеждания регион;
 6. Да отчитат най-малко тип почва и тип механизъм;
 7. Магнитудът, разстоянието и другите параметри да са в съответствие с тези параметри, използвани за характеризирание на сеизмичните източници;
 8. Да е посочена оценката на стандартната девиация, изчислена за съответната релация.
- Следващ етап е верифициране на избраните релации – да се покаже, че моделите за затихване, приложени за оценка на сеизмичната опасност, не са в противоречие с регионалните особености на сеизмогенния процес. За верификация се използват данни от директни наблюдения и макросеизмична информация.

1.6. МОДЕЛИРАНЕ НА НЕТОЧНОСТИТЕ В СЕИЗМИЧНИЯ ВХОД (ЛОГИЧЕСКО ДЪРВО)

Отчитането на неточностите в сеизмичния вход е ключов елемент в анализа на сеизмичната опасност. Вероятностният анализ на сеизмичната опасност е разработен, за да се отчитат неточностите в оценката на честотата на поява, силата и местоположението на бъдещите земетресения (Cornell, 1968).

Неточностите се разделят на два основни вида: алеаторни (aleatory), наречени още случайни грешки или неопределености; и епистемични (epistemic), или моделни грешки (McGuire, 1993).

Първият тип (случайни, или aleatory) са неточностите, произтичащи от случайността, присъща на природните явления. Те отразяват случайността, характерна за сеизмичния процес и разпространението на сеизмичните вълни. Вероятностните функции, съдържащи се в основния аналитичен модел за оценка на сеизмичната опасност, отразяват случайните неточности. Алеаторните неточности са включени директно в изчисленията при вероятностния анализ на опасността чрез математическото моделиране.

Моделните (епистемични) неточности са следствие на статистически или моделни вариации и са резултат от нивото на познание и базата данни, която е налична. Тези неточности са следствие на недостатъчното познание (включително ограничените извадки от данни) за сеизмогенезиса, характеристиката на протичащите процеси, земните движения и т.н., т.е. това са неточности в сеизмичния вход. Съществуват редица моделни грешки при

оценката на сеизмичната опасност, например: конфигурацията на сеизмичните източници; техните сеизмични характеристики – моделирането на честота на земетресенията, максималния магнитуд и др.

Правилното отчитане на неточностите е ключов елемент при вероятностния анализ на сеизмичната опасност. Разграничаването на двата вида грешки (което невинаги е лесна за решаване задача, а е възможна и миграция от алеаторни към епистемични грешки) и включването на моделните грешки в оценките са едни от най-важните проблеми, които се решават, за да се получи надеждна оценка от вероятностен анализ на сеизмичната опасност.

- Установена процедура при PSHA е включването на моделните неточности (грешки) в изчисленията чрез използването на „логическо дърво”. Логическото дърво е въведено от Kulkarni et al. (1984) като средство за моделиране и количествена оценка на неточностите в сеизмичния вход и се разглежда като част от вероятностния анализ на опасността (Coppersmith, Youngs, 1986).

Логическото дърво позволява формалното характеризирание на неточностите чрез алтернативни интерпретации, модели и параметри.

Общоприет подход за отчитане на моделните грешки е чрез постулиране на съвкупност от хипотези. На всяка хипотеза се приписва вероятностна стойност (тегло), основаваща се на аналитичната ѝ степен на достоверност или експертна оценка. За всяка хипотеза се генерира крива на сеизмичната опасност, представяща годишната честота на превишаване на определен параметър на земните движения. Така неточностите във входните данни намират израз в получаване на съвкупност от криви на опасността, отразяващи възможните хипотези.

- Важен принцип при разработването на логическото дърво (както е дефинирано в Vommer et al., 2005) е то да включва (чрез своите разклонения на дадено ниво) очакваните физически възможности за параметъра, който отразява съответното ниво.
- Логическото дърво за оценка на сеизмичната опасност трябва да включва неточностите във:
 - Конфигурацията, границите, размерите и дълбочинното разпределение на земетресенията в дефинираните сеизмични източници (препоръчително);
 - Оценката на магнитудно-честотната зависимост, изразена чрез нивото на сеизмичната активност и относителната честота на събития с различна сила (магнитуд) за всеки един от дефинираните сеизмични източници;
 - Оценката на максималния магнитуд (M_{max}) на очакваните земетресения – важен параметър в анализа на сеизмичната опасност (особено за малки вероятности на надвишаване);
 - Релациите (моделите) за затихване на сеизмичните земни движения като функция на силата на земетресението (магнитуд M) и разстоянието

сеизмичен източник–площадка. Установено е, че едни от най-съществените неопределености в анализа на сеизмичната опасност са свързани с релациите за затихване на сеизмичните вълни. Тази неопределеност най-общо се дава със стандартната девиация на релацията, изчислена за съответната релация. Допълнително за всяка релация трябва да е посочен магнитудният интервал, за който е валидна. Освен това всяка релация съдържа в себе си и епистемични неточности, дължащи се на ограничената извадка от данни, която е използвана за нейното получаване, опростената форма на релацията и др. По тази причина е необходимо в анализа да се използват поне две релации за затихване на земните движения, подходящи за сеизмотектонските особености на изследвания регион.

- Клоновете на логическото дърво трябва да са разработени по такъв начин, че при натрупване на нови познания ревизираните оценки на параметрите да бъдат лесно отразени;
- Физически необосновани хипотези не трябва да бъдат включвани в логическото дърво;
- За оценката на сеизмичната опасност да се използва софтуер, който позволява в изчисленията да се прилагат алтернативни модели за затихване и различни модели на сеизмичните източници.

1.7. ВЕРОЯТНОСТНА ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНАТА ОПАСНОСТ (PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ASSESSMENT)

Вероятностният подход (PSHA) оценява вероятността земното движение да превиши дадено ниво вследствие на земетресение за даден период от време. Земното движение може да бъде представено чрез различни характеристики – макросеизмична интензивност, максимално ускорение (скорост, преместване), спектрални ускорения и др. Вероятностният подход дава количествена оценка на сеизмичната опасност за дадена площадка от всички възможни земетресения на различни разстояния като вероятност за надвишаване на дадено ниво на земното движение за интересувачи ни периоди от време. Вероятностният подход е разработен, за да се отчита неопределеността, заложена в сеизмичния процес. Съвременните техники (програмни продукти) позволяват в анализа да се отчитат и неточностите във входните данни, необходими за оценката на сеизмичната опасност. Вероятностната оценка на проектните нива на земното движение се извлича директно от PSHA анализа.

Най-общо, сеизмичната опасност на дадена площадка е функция на: местоположението и геометрията на потенциалните сеизмични източници; максималната сила на земетресенията, които могат да се генерират във всеки един от потенциалните сеизмични източници, повторемостта на събития с

различна сила в тях и характеристиките на разпространението на сеизмичните вълни в дадения регион. Това обуславя основните етапи във вероятностния анализ на сеизмичната опасност, представени по-долу.

- Създаване и обединяване на сеизмологична, геолого-геофизична и геодезична база данни. Потенциалните сеизмогенни източници в разглежданата територия се дефинират по сеизмологична, геоложка, геофизична и геодезична (данни за съвременните движения и напрежения на земната кора) информация. Съвместяване на тези данни позволява да се локализируют съвременно активните разломни структури и да се оцени разпределението на напреженията в земната кора за изследваната територия.
- Регионален сеизмотектонски модел се създава въз основа на общата база данни, получена от изследванията за региона при съгласувано обединяване на сеизмологичната, геолого-геофизичната и геодезичната информация. Стандартната процедура е интегриране на елементите от базите данни, като се включва и допълнителна информация (напр. решение на механизмите на земетресенията, действащи напрежения и др.) с цел създаване на модел, състоящ се от дискретен набор сеизмогенни структури и зони с дифузна сеизмичност. Всеки елемент на сеизмотектонския модел се характеризира с геометрия, магнитудно-честотно разпределение на земетресенията и максимален очакван магнитуд. При анализа на сеизмичната опасност е необходимо да се отчитат неточностите и интервалите на вариране на параметрите, характеризиращи елементите на модела. Подробно описан в раздел 1.2.
- Генериране модел на сеизмичните източници – конфигурация на източниците, в които се генерират земетресения. Моделът на сеизмичните източници е схематично представяне на сеизмотектонския модел, позволяващо директното му прилагане в изчисленията на сеизмичната опасност. Сеизмичен източник е област, характеризираща се с подобие на геоложкия строеж и реализирана сеизмичност. Сеизмичните източници се определят на основата на сеизмотектонския модел, създаден за съответния регион. Елементите на модела се представят като сеизмичен източник от определен тип и геометрия (източниците могат да бъдат площни, линейни, смесен тип и точкови). Подробно описан в раздел 1.3.
- Оценка на параметрите на пространствено-времето и енергетичното разпределение на сеизмичността (оценява се и точността в определяне на съответния параметър) във всеки сеизмичен източник. Надеждната оценка на сеизмичната опасност в даден регион изисква предвиждане на пространственото, енергетичното и времето разпределение на бъдещите земетресения, както и адекватното моделиране на геометрията на сеизмичните източници. За моделиране пространствено-времето и

енергетичното разпределение на земетресенията и коректното оценяване параметрите на тези разпределения е необходимо използване на хомогенен, деклъстеризиран каталог на независими земетресения и актуална и пълна геолого-геофизична и геодезична база данни. Подробно описани в раздел 1.4.

Случайността в местоположението на бъдещите земетресения, генерирани в сеизмичните източници, най-често се моделира чрез равномерно разпределение в целия източник и/или равномерно разпределение на земетресенията с по-нисък магнитуд в него и равномерно разпределение на по-силните земетресения по дефинираните (в източника) сеизмогенни структури.

За всеки сеизмичен източник се определя повторемостта на земетресенията с различни магнитуди (магнитудно-честотна зависимост), която се представя чрез нивото на сеизмичната активност и относителната честота на събития с различна сила (магнитуд). За всеки сеизмичен източник се оценява магнитудно-честотната зависимост, или график на повторемост, която се дефинира чрез релацията: $\log N = a - bM$. Посочва се и магнитудният интервал, за който релацията е приложима. Параметрите **a** и **b** на магнитудно-честотната зависимост най-често се оценяват по МНК или ММП, като за предпочитане е оценката по ММП. Неточностите в оценката на параметрите на магнитудно-честотната зависимост трябва да се дефинират с вероятностни разпределения, които отчитат всички връзки между тези разпределения.

За всеки един от дефинираните сеизмични източници се оценява максималното очаквано земетресение, което може да се генерира от източника. Максималният магнитуд (M_{\max}) на очакваните земетресения е важен параметър в анализа на сеизмичната опасност (особено за малки вероятности на надвишаване). M_{\max} може да се оцени както от сеизмологична, така и от геолого-геофизична база данни, допуска се и „експертно решение“. Неточностите в оценката на M_{\max} се описват с дискретни или непрекъснати вероятностни разпределения.

- Избор на модел за затихване на сеизмичните земни движения. Затихването се представя чрез съответни криви, наричани още прогностични релации, закони, модели, описани в раздел 1.5.

Прогностичните релации за земните движения (Ground Motion Prediction Equations/ GMPEs) са средство за прогнозиране на нивото на земните движения заедно с техните неопределености в зависимост от магнитуда, разстоянието земетръсен източник–площадка, локалните почвени условия, механизма на земетресенията и др. като функция на силата на земетресението (магнитуд M) и разстоянието сеизмичен източник–площадка. Прогностичните релации оказват съществено влияние върху оценката на сеизмичната опасност. Оценката на параметрите (коэффициенти и стандартна девиация) на даден закон за затихване силно зависят от количеството и качеството на входните данни – магнитуден интервал, хомогенност на извадката и др.

Съществено е избраните релации да бъдат верифицирани с данни от директни наблюдения и макросеизмична информация – да се покаже, че моделите за затихване, приложени за оценка на сеизмичната опасност, са в съответствие с регионалните особености на сеизмогенния процес на територията на България.

- Моделиране на неточностите във входните данни (описани в 1.6). Отчитането на неточностите в сеизмичния вход е ключов елемент в анализа на сеизмичната опасност. Вероятностният анализ на сеизмичната опасност е разработен, за да се отчитат неточностите в оценката на честотата на поява, силата и местоположението на бъдещите земетресения (Cornell, 1968). Правилното отчитане на неточностите е ключов елемент при вероятностния анализ на сеизмичната опасност.

Неточностите се разделят на два основни вида – алеаторни (aleatory) и епистемични (epistemic) (описани в т. 1.6).

Във вероятностния анализ на сеизмичната опасност неточностите в моделирането (моделните грешки) се отчитат и включват в изчисленията чрез т.нар. логическо дърво (логическа схема) (Kulkarni et al., 1984; Coppersmith, Youngs, 1986; Vommer et al., 2005) и/или чрез метода на Monte Carlo (Bungum et al., 1986).

- Избор на подходящ стохастичен модел за поява на земетресенията. В повечето случаи при оценката на сеизмичната опасност се предполага, че вероятността земетресение да се случи в момент T не зависи от времето, изминало от предишното земетресение. Това предположение обикновено се описва чрез Поасонов процес. В почти всички съвременни софтуерни продукти за вероятностен анализ на сеизмичната опасност е предположен Поасонов процес за реализация на земетресенията във времето.
- Избор на софтуер за вероятностна оценка на сеизмичната опасност. За вероятностна оценка на сеизмичната опасност на територията на България е разработена програма, основавана главно на програмата EQRISK (McGuire, 1976), като са използвани някои изчислителни процедури от SEISRISKIII (Bender, Perkins, 1987). Програма е приложена и за вероятностна оценка на сеизмичната опасност за редица високорискови съоръжения на територията на страната и за създаването на нови карти за сеизмично райониране на България в съответствие с ЕС8.

Исходната информация от Вероятностния анализ на сеизмичната опасност е:

- Средни и фрактални криви на сеизмичната опасност (представени в табличен и графичен вид) за избрания параметър на земно движение;
- Среден и фрактални равновероятностни спектри (представени в табличен и графичен вид);

- Средните и фракталните криви и равновероятностни спектри се изчисляват за различна годишна вероятност за надвишаване (например 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} и 10^{-6}) и за различни фрактални нива (например 0.05, 0.16, 0.50, 0.84 и 0.95) в зависимост от изискванията, заложи в работната програма;
- При вероятностния анализ на сеизмичната опасност е препоръчително да се определят земетресенията с най-голям принос към сумарната оценка на сеизмичната опасност за дадена област и да се отчете относителният принос на всеки сеизмичен източник към сумарната оценка. Такива оценки се получават чрез деагрегация на резултатите от PSHA. Деагрегацията е процедура, разработена за изследване на пространствено-магнитудната зависимост на резултатите от вероятностния анализ на сеизмичната опасност. Извършва се деагрегация по магнитуд и разстояние (M-D деагрегация) и по сеизмични източници. Деагрегацията се прилага за средната стойност на сеизмична опасност и за годишни вероятности за надвишаване, които ще бъдат използвани за оценяване или проектиране. В деагрегацията може да бъде включен и параметърът ϵ , даващ отклонението на земното движение от прогнозираната (медианна) от използваните релации за затихване стойност (ϵ се задава като \pm части от стандартната девиация).

1.8. ДЕТЕРМИНИСТИЧНА ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНАТА ОПАСНОСТ (DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ASSESSMENT)

Детерминистичният подход постулира появата на земетресение с определена сила и конкретно местоположение (обикновено активен разлом) и оценява въздействията от това земетресение за конкретна площадка. Въздействията могат да бъдат представени чрез различни характеристики – макросеизмична интензивност, максимално ускорение (скорост, преместване), спектрални ускорения и др. Този подход не прогнозира вероятността за случване на даденото събитие през определен период от време. Детерминистичната оценка е нивото на сеизмичните земни движения, предизвикани от най-силните земетресения, реализирани в най-близките до дадена площадка сеизмични източници. Вероятността за надвишаване на това ниво не може да се изчисли директно и се оценява след вероятностния анализ на сеизмичната опасност. В зависимост от целите на изследването могат да се разглеждат земетресения, избрани по други критерии – например по-слабо земетресение с по-голяма вероятност за случване. Детерминистичната оценка е препоръчителна при оценки на сеизмичната опасност за площадки с ограничени размери (напр. селища).

Детерминистичният подход включва следните етапи:

- Създаване на сеизмотектонска база данни за разглеждания регион (обикновено област с радиус около 150 km около разглежданата площадка);
- Анализ на регионалната сеизмотектоника;
- Индентификация и местоположение на сеизмичните източници, които могат да предизвикат значими сеизмични въздействия върху дадена площадка;
- Определяне на “референтно” земетресение (максималното историческо или максимално потенциално земетресение в съответствие със сеизмотектонските особености на региона) за всеки източник, специфицирано с магнитуд или епицентрална интензивност. “Референтното” земетресение трябва да бъде в съответствие с резултатите от деагрегацията на вероятностния анализ на сеизмичната опасност. В зависимост от резултатите от деагрегацията детерминистичната оценка може да бъде комбинация от повече от едно земетресение. Често максималното ускорение се доминира от близки източници с умерено силни земетресения, докато спектралните ускорения за по-големите периоди се доминират от по-далечни силни земетресения;
- За всеки източник максималният магнитуд в него се привързва към най-близката до площадката точка;
- Избор на подходящи релации (модели) за затихване на земните движения, като се отчитат неопределеността (σ), заложена в моделите, и локалните условия на площадката;
- Оценка на сеизмичната опасност;
- Отчитане усилващите ефекти на конкретните инженерно-геоложки условия;
- Сравнение и верификация на резултатите.

ЧАСТ 2. ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНАТА УЯЗВИМОСТ

2.1 . СГРАДЕН ФОНД

2.1.1. Входни данни за сгради

Данните, необходими за оценка на сеизмичната уязвимост на сградите, дават информация за:

- наименование;
- адрес;
- основно предназначение;
- вид на строителните материали;
- тип на конструктивната система, поемаща сеизмичното натоварване;
- година на проектиране и построяване;
- използвани нормативни документи за сеизмично осигуряване; ниво на сеизмично осигуряване (7, 8, 9 степен по скалата за интензивности);
- брой на етажите;
- височина;
- форма в план – информация за регулярност или нерегулярност;
- форма по височина – информация за регулярност или нерегулярност;
- вид на приземния етаж;
- площ на приземния етаж;
- предназначение на етажа;
- разгъната площ;
- състояние по отношение на поддръжката, в т.ч. информация за претърпени повреди при минали земетресения, извършени предишни реконструкции, промяна на функции, усилвания;
- качество по отношение на материал, проект, строителство;
- фундиране, вид на земната основа (меки, твърди почви, насип, скала), ниво на подпочвените води; наклон на терена (градус, процент);
- брой апартаменти;
- площ на апартаментите;
- брой обитатели (денем/ нощем).

Нивото на пълнота на входните данни е съществено и определя степента на прецизност на възможните за приложение методи за оценка на уязвимостта.

Източници за събиране на данни за сградния фонд са:

- местни и регионални власти – общини и кметства;
- кадастър;
- преброяване – Национален статистически институт (НСИ);
- дистанционни методи за наблюдение и създаване на бази данни;
- технически паспорти.

При липса на информация в изброените източници е необходимо допълнително обследване на място за събиране на данни във формат, определен за целите на оценката на сеизмичния риск. Обследването се извършва от предварително обучени лица, запознати с особеностите на прилаганите у нас конструктивни система. По-долу е приложен специализиран чек лист.

За сгради с особена значимост след силно земетресение (болници, училища, пожарна, полиция) е препоръчително провеждане инспекция на място с цел по-прецизно определяне на сеизмичната им уязвимост.

**ИНВЕНТАРЕН ОПИС (ЧЕК ЛИСТ) ЗА СЪБИРАНЕ НА ДАННИ ЗА ОЦЕНКА
НА УЯЗВИМОСТТА НА СГРАДИТЕ**

Дата:

ОБЩА ИНФОРМАЦИЯ:

Наименование на сградата:	
Адрес:	
Година на изграждане/проектиране:	
Основно предназначение на сградата:	
GPS координати:	
Брой и площ на апартаменти:	
Брой обитатели в сградата: (денем/ нощем)	
Наличие на технически паспорт на сградата:	
Коментари:	

ГЕОМЕТРИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Брой на етажите:	
Височина:	
Форма на сградата в план-информация за регулярност или нерегулярност:	
Форма на сградата по височина – информация за регулярност или нерегулярност:	
Разгъната площ:	
Коментари:	

ТЕХНИЧЕСКИ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

А. НОСЕЩА КОНСТРУКЦИЯ

Вид строителен материал:	
Тип конструктивна система на сградата, поемаща сеизмичното натоварване:	
Използвани нормативни документи за сеизмично осигуряване; ниво на сеизмично осигуряване (7, 8, 9 степен по скалата за интензивности):	
Състояние на носещата конструкция: – наличие на пукнатини;	

<ul style="list-style-type: none"> – нарушено бетоново покритие; – оголена и корозирала армировка; – следи от течове и/или слягане на основата; – наличие на пукнатини в преградни и носещи зидове; – големи деформации на основни конструктивни елементи. 	
Информация за фундиране на сградата, вид на земната основа (меки, твърди почви, насип, скала), ниво на подпочвени води; наклон на терена (градус, процент) :	
Коментари:	

Б. ПЪРВИ ЕТАЖ

Коравина на етажа: <ul style="list-style-type: none"> • Гъвкав първи етаж по проект • Отслабен (премахнати преградни зидове) 	
Площ на етажа:	
Информация за предназначението на етажа:	
Коментари:	

В. СТАТУС НА СГРАДАТА

Състояние на сградата по отношение на нейната поддръжка, в т.ч. информация за претърпени повреди при минали земетресения, извършени предишни реконструкции, промяна на функции, усиления:	
Качество на сградата по отношение на материал, проект, строителство:	
Коментари:	

Подробна информация за начина на организиране на данните в ГИС е дадена в точка 4.1.

2.1.2. Класификация на сградния фонд в зависимост от типа на конструктивната система, годината на проектиране/построяване, етажността и предназначението

В базата данни сградите се класифицират в отделни групи с цел оценяване на повредите. В една група попадат сгради с конструктивни системи, реагиращи по един и същи начин на сеизмично въздействие. Нецелесъобразно е анализирането на всяка отделна сграда. Чрез анализа на уязвимостта се разработват зависимости между параметрите на земното движение и възможните повреди в конструкциите за всеки прототип (представител на група). Те от своя страна се използват за определяне на очаквания размер на конструктивните повреди за дадено ниво на сеизмичното въздействие.

2.1.2.1. Формиране на матрицата на типологиите сгради

Основни параметри за формиране на матрицата на типологиите сгради:

1-ви параметър – вид строителен материал:

Зидани конструкции – зидария от тухли, камъни и др. – ЗД;

Стоманобетонни конструкции: монолитни – СтБ, и сглобяеми ст.б. – СтБс;

Стоманени конструкции – См;

Комбинирани конструкции – стомана и стоманобетон – Ксб.

2-ри параметър – начин на строителство:

Монолитни – М;

Сглобяеми – С;

Комбинирани – К.

3-ти параметър – етажност:

Ниска етажност – НЕ 1-3 етажа;

Средна етажност – СЕ 4-8;

Висока етажност – ВЕ 9-22.

4-ти параметър – вид подова конструкция:

Деформируема подова конструкция – ДФ;

Недеформируема подова конструкция – НДФ.

5-ти параметър – дуктилност (способност за нелинейно поведение)

Липса на дуктилност – 0Д;

Нисък клас дуктилност – НД (L);

Среден клас дуктилност – СД (M);

Висок клас дуктилност – ВД (H).

Подробно описание на типовете конструктивни системи в зависимост от вида на материала, конструктивната система (вертикална и хоризонтална), начина на изграждане и други параметри е дадено в Приложение 1.

Пълната матрица съдържа 24 типологии (табл. 1 на Приложение 1).

В кондензираната матрица на типологиите (12 типологии) са избрани най-често срещаните типове конструктивни системи за жилищни сгради – таблица 2 на Приложение 1.

За класифициране на сградите по типове уязвимост са съществени и параметрите: ограничена етажност; година на построяване.

2.1.2.1.1. Ограничена етажност

При описание на различните типове сгради е посочена и етажността. Нормите за сеизмично осигуряване предвиждат ограничаване на височината и броя на

етажите в земетръсни райони. Правилникът от 1987 г. не предвижда ограничения само за жилищни, обществени и промишлени сгради със стоманен скелет или монолитни със стоманобетон. За всички останали броят на етажите се определя в зависимост от сеизмичността на площадката. За едропанелни (ЕПЖС) и сгради с пакетно повдигани плочи (ППП) ограниченията са: при $K_c=0.27$ ($a_{max}=0.27g$) – до 8 етажа; $K_c=0.15$ – до 9 етажа; $K_c \leq 0.10$ – до 12 етажа.

2.1.2.1.2. Година на построяване

Второто ниво на категоризация на сградите се извършва в зависимост от годината на проектиране и/или построяване. Този параметър има особено значение, тъй като при липса на данни за някои от изброените по-горе параметри (използвани правилници за сеизмично проектиране; ниво на сеизмично осигуряване; карта на местоположението на сградата с очакваната максимална сеизмична интензивност) дава индиректна информация чрез нормативните документи, прилагани по време на проектирането и/или строителството.

Ключовите, разделителни дати са годините, в които са приети, допълнени или изменени съответните правилници/наредби за строителство в сеизмични райони:

- (0) ≤ 1929 ;
- (1) 1930-1957;
- (2) 1958-1964;
- (3) 1965-1977;
- (4) 1978-1987;
- (5) 1988-2007;
- (6) ≥ 2007 .

2.1.3. Нива на повреди и разрушения в конструкциите на сградите

В съвременните макросеизмични скали повредите се представят в дискретна форма чрез нива на повреди (НП) (k) (damage grades Dg (k), ($k=0,1,2,3,4,5$), които могат да се наблюдават при земетресение. В случая на Европейската макросеизмична скала EMS-98, която е в основата на настоящата методика, са приети пет нива на повреди, представени в таблица 2.1.3-1.

Таблица 2.1.3-1 Дефиниране на нивата на повреди в Европейската макросеизмична скала (EMS-98)

Ниво на повреди	Описание
НП 0 ($Dg0$)	няма
НП 1 ($Dg1$)	леки
НП 2 ($Dg2$)	средни
НП 3 ($Dg3$)	тежки
НП 4 ($Dg4$)	много тежки
НП 5 ($Dg5$)	разрушение

Подробно описание на нивата на повреди за стоманобетонни конструкции е дадено в таблица 2.1.3-2.

Таблица 2.1.3-2. Дефиниране на нивата на повредите за стоманобетонни конструкции според ЕМС-98

	<p>Ниво 1: Незначими до слаби повреди (без конструктивни повреди, слаби неконструктивни повреди) Малки пукнатини по мазилки върху елементи от рамкови конструкции или в основата на стените. Малки пукнатини в части от преградни стени.</p>
	<p>Ниво 2: Средни повреди (слаби конструктивни повреди, слаби неконструктивни повреди) Пукнатини в колоните и гредите от рамковите конструкции и сеизмичните шайби. Пукнатини в части от преградните стени; разрушения на крехки облицовки и стенни панели.</p>
	<p>Ниво 3: Значителни до тежки повреди (средни конструктивни повреди, тежки неконструктивни повреди) Пукнатини в колоните и във възлите колона-гредна на рамковите конструкции. Разрушение на бетонното покритие, загуба на устойчивост на армировъчните пръти. Големи пукнатини в части от преградните стени, разрушение на отделни преградни панели</p>
	<p>Ниво 4: Много тежки повреди (тежки конструктивни повреди, много тежки неконструктивни повреди) Големи пукнатини в конструктивните елементи, вкл. повреди от натиск в бетона и скъсване на армировъчни пръти; загуба на сцепление на армировъчните пръти в гредови елементи; завъртане на колони. Разрушение на малък брой колони или на последния етаж на конструкцията.</p>
	<p>Ниво 5: Разрушение (много тежки конструктивни повреди) Разрушение на приземния етаж или части (крила) на сградите.</p>

2.1.4. Оценка на уязвимостта на сградния фонд

Съществуват два основни подхода за определяне на физическата уязвимост:

- емпиричен;
- аналитичен.

2.1.4.1. Емпиричен подход за определяне на уязвимостта

Зависимостите за емпиричната 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 дадена сграда от определен клас да понесе определено ниво на повреди като резултат от определена сеизмична интензивност. Традиционно емпиричните изследвания за оценка на сеизмичните загуби се извършват с помощта на скалите за интензивност – Модифицирана скала на Меркали (Modified Mercalli (MMI) или Европейска макросеизмична скала (EMS-98).

2.1.4.2. Аналитичен подход за определяне на уязвимостта

Основава се на статистическа обработка на резултати от проведени числени изследвания на конструкции за набор от сеизмични въздействия. Основните елементи, необходими за получаване на аналитични зависимости за уязвимостта, са:

- дефиниране на конструктивната система;
- генериране на входни земни движения;
- оценка на реагирането на конструкцията;
- статистическа обработка на получените резултати.

Съществуват няколко причини, поради които не се препоръчва прилагане на аналитичния подход (специално за сгради):

- съществуващи ограничения в достоверното моделиране на конструктивните и неконструктивните елементи, в т.ч. взаимодействието земна основа–конструкция, особено за по-високи нива на повреди и силни земни движения;
- сложни и обемисти изчисления;
- за типовете конструкции, характерни за нашата страна, няма разработени достоверни криви на уязвимост; съществуващите криви от проект RISK-UE (2004) обхващат само няколко типологии и са получени на база експертна оценка.

2.1.4.3. Процедура за оценка на уязвимостта на сградния фонд

В настоящата методика за анализ, оценка и картографиране на сеизмичния риск се препоръчва емпиричен подход за определяне на уязвимостта.