

13. Методи за оценка на сеизмичните въздействия върху площадки на отговорни съоръжения (АЕЦ, язовирни стени, ВЕЦ, ТЕЦ и т.н.), отчитащи реализация на сеизмичната енергия на земната повърхност

Нормативни документи за строителство в земетръсни райони.

Норми за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, 1987. Нормативна база за проектиране и строителство 2 02 04. КТСУ при МС и БАН, Издателски център Строителство и Архитектура, София, 68 с. (с карта-приложение “Сеизмично райониране на България за период 1000 години” в М 1:1000000).

Нормите (БН87) определят изискванията, които трябва да се спазват при проектирането на жилищни, обществени, промишлени, транспортни, селскостопански, хидротехнически и енергийни сгради и съоръжения, които се строят в земетръсните райони на България. Съгласно чл.1./1/ **те не се прилагат за строителните конструкции на атомни централи и за съоръженията за производство и съхранение на силно токсични летливи и течни вещества .**

БН87 предвиждат необходимите мерки за предпазване на строителните конструкции (без обзавеждането и технологичното оборудвана) от повреди, които могат да бъдат причина за разрушение на сградите и съоръженията или на техни части. Те допускат поява на повреди в конструкциите, които не са опасни за живота на хората, за съхраняването на ценни машини и съоръжения и които няма да причинят прекъсване на дейността на жизнено важни за страната стопански и обществени организации.

Строителните площадки в земетръсните райони се категорират в зависимост от почвените условия, съгласно дадената в БН87 таблица 1. Счита се, че благоприятни в сеизмично отношение са почвите от I и II група (скални, полускални, чакълести и плътни материали) при ниво на подпочвените води от 4 m и повече под нивото на терена. Към неблагоприятните или малко пригодни за строеж терени в земетръсните райони се отнасят: силно изветрели участъци; стръмни терени с наклон над 1:3, включително скални, ако в тях има неблагоприятно разположени повърхнини на хлъзгане (пукнатини, тектонски нарушения и др.); терени с карст и обвали или намиращи се в зони на минни галерии; терени, разположени непосредствено до нескални скатове; водонаситени, тинести и заблатени почви. Непригодни за строеж в земетръсни райони са: терени с активни или пасивни свлачища, ако не са предварително укрепени; терени с активни разломи. Не се допуска строителство върху терени, за които чрез микросеизмично райониране е доказано, че имат сеизмичен коефициент $K_c \geq 0.4$, с изключение на спомагателни, животновъдни и други второстепенни по-важност сгради (сгради от категория В, без язовирните стени).

Условията за непригодност за строеж в земетръсни райони (терени с активни и пасивни свлачища, ако не са предварително укрепени; терени с активни разломи) почти напълно се покриват с критериите на МААЕ за непригодност на площадка за

строителство на атомни централи (липсват условията за слягане и втечняване на почвата). По-широк анализ изисква условието за активните разломи, т.е. вложеното разбиране при неговото дефиниране. Това налага да се посочат някои публикации, имащи отношение към изготвянето на този нормативен документ.

При проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони трябва да се спазват следните основни принципи:

1. Да се избират терени за строителство, които да са възможно най-малко опасни в сеизмично отношение;
2. Да се избират предимно симетрични конструктивни схеми с равномерно разпределение на масите и коравините в план и по височина;
3. Сградите със сложна форма, с големи в план размери, с различни конструктивни схеми и етажности, да се разделят с противоземетръсен фуги на прости правилни геометрични форми;
4. Да се осигурява директно предаване на вертикалните и хоризонтални натоварвания върху основите и пространствено действие на конструкциите;
5. Да се създават условия за развиване пластични деформации в конструкциите, без това да води до загуба на общата им устойчивост;
6. Не се допускат архитектурни решения на сгради и съоръжения при които не може да се постигне ефективно конструктивно осигуряване срещу сеизмични въздействия или съществува особена чувствителност на конструкциите при сеизмични въздействия.

БН87 съдържа пет глави, Преходни и заключителни разпоредби, както и четири приложения, включително картата на сеизмичното райониране на България за период 1000 години.

Глава първа третира общите положения, областта на приложение, принципите за избор на строителната площадка и основните изисквания (съдържанието на главата в резюмиран вид е дадено в текста по-горе).

Глава втора е най-важна, тъй като третира въпроса за определяне на изчислителното сеизмично натоварване. Указва се, че конструкциите на сградите и съоръженията се изчисляват задължително и за действието на сеизмични сили. Конструкциите могат да се разглеждат като системи с краен брой степени на свобода, като масите се съсредоточават в отделни сечения (възли), а сеизмичните сили се приемат като еквивалентни статични натоварвания в местата на съсредоточените маси. Сеизмичните сили могат да са произволно ориентирани в пространството. За сгради и съоръжения с правоъгълна форма се приема, че сеизмичните въздействия действат поотделно на надлъжните и напречните им оси. За сгради и съоръжения със сложна форма се отчитат най-опасните за тях направления на сеизмичните въздействия. Специфицира се в кои случаи се отчита вертикалното сеизмично въздействие.

Сеизмичните сили се отнасят към особените натоварвания, а съчетанията на натоварвания, включващи и сеизмичните сили се третират като особени съчетания. Коефициентът за съчетание на сеизмични въздействия има стойност 1.0. Коефициентът за сигурност по предназначението на сградите и съоръженията за особени съчетания е също 1.0. Коефициентите на натоварване при наличие на сеизмични сили варират от 0.4 до 1.0 в зависимост от натоварванията и се

определят по таблични данни. Когато усилията от вятър са по големи от сеизмичните, те се приемат за меродавни.

Изчислителната сеизмична сила E_{ik} в разглежданото направление, приложена в точка (ниво) k и съответстваща на i -тата форма на собствените трептения на конструкцията се определя по формула (1)

$$(1) \quad E_{ik} = CRK_c \beta_i \eta_{ik} Q_k ,$$

където: C -коэффициент на значимост на сградите и съоръженията (табулиран: 1.5 за категория А, 1.0 за Б, 0.75 за В, 0 за Г); R -коэффициент за реагиране на конструкцията при сеизмични въздействия (табулиран от 0.20 до 0.50 за най-масовото строителство, теоретично $R \leq 1$); K_c -сеизмичен коэффициент, представляващ отношение на приетото за всяка сеизмична степен изчислително ускорение на почвата към земното ускорение и се определя по приложената карта на сеизмичното райониране за период 1000 години или от списъка на населените места със стойностите на K_c ; β_i -динамичен коэффициент, съответстващ на i -тата форма на собствените трептения на сградата и съоръжението; η_{ik} -коэффициент на разпределение на изчислителното сеизмично натоварване, съответстващо на i -тата форма на собствените трептения на конструкцията в точка (ниво) k и се определя по формули в три варианта дадени в БН87; Q_k -частта от теглото на сградата или съоръжението, приета като съсредоточена сила в точка k и определена с коефициентите на натоварвания (както бе казано със стойности между 0.4 и 1.0).

Фактически към пряко определяемите сеизмични характеристики за всяка площадка във формула (1) се отнася коефициента K_c , който се намира от картата на сеизмичното райониране за период 1000 г. или от списъка на населените места. В случая става дума за картата на прогнозната сътресаемост или за степента на сеизмичните въздействия по скалата на Медведев-Шпонхойер-Карник (МШК-64), които могат да се реализират върху земната повърхност в интервал от 1000 години. В БН87 на степените по МШК от картата са приписани (по волево, експертно решение) коефициенти K_c както следва: 0.05 за 6 степен, 0.10 за 7 степен, 0.15 за 8 степен (в световната практика коефициента е 0.20) и 0.27 за 9 степен (в световната практика е 0.40). За строителни площадки за които има или е необходимо провеждането на микросеизмично райониране, стойностите за K_c се приемат по данните от микрорайонирането. Нататък картата на сеизмичното райониране за период 1000 г. с приписаните стойности за K_c ще се означава като нормативна. От инженерна гледна точка е важно да се отбележи, че тази карта не отразява степени по-големи от 9. Това не означава, че интензивността на въздействията не може да бъде по-висока. За огнищни зони с $M \geq 7$ въздействия с интензивности над 9 степен ще се наблюдават като отделни петна и или изцяло могат да запълнят контурите на огнищните зони с $M \geq 7$ от картата на ВОЗ. Следва още да се отбележи, че нормативната карта за период 1000 години значително увеличава площите върху които са задължителни противоземетрънните мероприятия в строителството по сравнение с картите от правилниците преди 1987 г., както това личи от Таблица 13.1.

Таблица 13.1 Разпределение на площите в % от територията на България, попадащи в различна интензивност

Вид на картата	сеизмична интензивност (степен)				
	6	7	8	≥9	≥7
Правилник от 1961г.	75*	17	4	1	22
Правилник с допълнение на картата от 1977 г.	60*	34	5	1	40
Максимални наблюдавани интензивности I_{max}	36	49	11	4	64
Прогнозна сътресаемост за период 100 г.	35	65	0	0	65
Прогнозна сътресаемост за период 1000 г. (нормативна от 1987 г.)	2	51	28	19	98
Прогнозна сътресаемост за период 10000 г.	0	22	44	34	100

*за 6 и по-ниска степен

Динамичният коефициент β_i във формула (1) зависи от периода T_i на собствените трептения на конструкцията и групата на почвата и се определя чрез релацията:

$$(2) \quad k_1 \leq \beta_i = k_2 / T_i \leq k_3 ,$$

където $k_1=0.8$ и $k_2=0.9$ за първа група почви, $k_1=0.8$ и $k_2=1.2$ за втора група почви, $k_1=1.0$ и $k_2=1.6$ за трета група почви и $k_3=2.5$ за всички групи почви, като е разбираемо, че стойностите на коефициентите k_1 , k_2 и k_3 са определени по експертни (моделни) оценки. От формула (2) следва, че за първа група почви $\beta_i = 2.5 = \text{const}$ за $T_i \leq 0.36$ s, след това е намаляща (дробно-линейна) функция $\beta_i = 0.8 / T_i$ до $T_i \leq 1.12$ s и за $T_i > 1.12$ $\beta_i = 0.8 = \text{const}$. За втора група почви $\beta_i = 2.5 = \text{const}$ за $T_i \leq 0.48$ s, след това е намаляща (дробно-линейна) функция $\beta_i = 1.2 / T_i$ до $T_i \leq 1.5$ s и за $T_i > 1.5$ $\beta_i = 0.8 = \text{const}$. За трета група почви $\beta_i = 2.5 = \text{const}$ за $T_i \leq 0.64$ s, след това е намаляща (дробно-линейна) функция $\beta_i = 1.6 / T_i$ до $T_i \leq 1.6$ s и за $T_i > 1.6$ $\beta_i = 1.0 = \text{const}$. При разнородна земна основа β_i се определя като средноаритметична стойност от индивидуалните оценки на β_i за различните участващи групи почви.

В БН87 се допуска определяне на срязващите усилия в сгради и съоръжения при отчитане на развитие на пластични деформации да се прави чрез интегриране на диференциалното уравнение на движението, като ускорението на основата се моделира с реални или синтетични акселерограми. Максималното ускорение следва да се приема не по малко от $K_c g$, където K_c е сеизмичният коефициент за площадката, а $g (=1000 \text{ cm/s}^2)$ за такъв род изчисления) е земното ускорение.

По нататък в тази глава се разглеждат специфични и частни проблеми по определяне на сеизмичните сили в различни конструктивни системи и условия, но навсякъде като основа се използват сеизмичните коефициенти K_c . Определят се и изискванията към противоземетръсните фуги. В табличен вид се дават ограниченията в етажността на сградите в зависимост от конструктивната система

и стойността на K_c . Без ограничения са оставени само конструкциите от монолитен стоманобетон, със стоманен скелет и стоманените.

Глава трета определя конструктивните изисквания за антисейзмичното осигуряване на сградите и съоръженията. В общите положения на I раздел се указва, че всички сгради и съоръжения (без тези от категория Г), попадащи в райони с $K_c \geq 0.10$ (7 степен по МШК) задължително се изчисляват на сейзмични въздействия. При $K_c = 0.05$ следва да се спазват всички конструктивни изисквания дадени в тази глава. Според K_c се регламентират максималните разстояния между носещите елементи, поемащи сейзмичните сили. В раздели II до VIII последователно се разглеждат особеностите за: фундаменти и сутеренните стени, стоманобетонните конструкции, скелетните сглобяеми и монолитни сгради, едропанелни сгради, сгради с носещи зидани конструкции, предварително напрегнати стоманобетонни конструкции и стоманените конструкции.

Глави четири и пет третираат изискванията и особеностите на транспортните и на хидротехническите съоръжения.

От изложеното по горе могат да се направят някои изводи и за сейзмичното осигуряване на ядрените инсталации, по-точно в частта им за проектните сейзмични характеристики. Като изключително специфични и отговорни инсталации и не третирани в БН87, проектните им сейзмични характеристики е недопустимо да бъдат по-ниски от приетите за обикновеното масово строителство в страната. Препоръката за използване на данни за K_c и евентуално за β от микросейзмично райониране, за ядрените инсталации трябва да се разбира като указание за провеждане на специализирани изследвания за определяне на проектните сейзмични характеристики.

Изисквания на Ерокод 8

В последните десет години Комисията на европейската общност (СЕС) инициира работата по създаване на правилници, общо 9, за стандартизиране на проектните дейности в строителството на сгради и съоръжения в Европа, включително и за строителство в земетръсни райони, какъвто се явява Ерокод 8 (ЕС8). ЕС8 се разглежда като предстандартен документ (ENV 1998-1), които се предлага на страните членки на СЕС за експериментиране с начален три годишен изпитателен срок. За България ЕС8 представлява голям интерес с оглед на нашата ориентация към членство в СЕС.

Основната цел на ЕС8 е при земетресение да се предпази човешкия живот, повредите в сградите и съоръженията да са ограничени (изключва се частично или тотално срутване), а важните съоръжения да останат действащи. ЕС8 включва комплект от предпазни мерки, чиято реализация зависи от решенията на националните институции на страните членки на СЕС, с оглед да се балансира нивото на защита до съответно оптимално ниво. **Специалните конструкции и съоръжения с увеличен риск за населението, като ядрени централи и големи язовири, не са обект на разглеждане в ЕС8.**

Представянето на сейзмичните въздействия и тяхното комбинирано действие с други сили и натоварвания е осъществено в част 1-1 на ЕС8. Използването на сейзмичните и комбинираните сили за проектирането на сградите и съоръженията е обект на част 1-2, а различните материали и конструктивни елементи на сгради се

разглеждат в част 1-3. Част 1-4 се отнася до съществуващи сгради и съоръжения. Отделно се разглеждат мостове (част 2), кули и комини (част 3), резервоари и тръбопроводи (част 4), както и фундирането с геотехническите му аспекти (част 5).

Следвайки ЕС8, част 1-1, по-надолу са разгледани накратко основните въпроси по дефинирането и приложението на сеизмичните характеристики и свързаните с тях особености. В част 1-1 се указва, че всички дадени в квадратни скоби [] числени стойности за сеизмичните и други натоварвания са само индикаторни, като националните институции могат да им приписват стойности различни от индикаторните. Почвените условия са поделени в три основни класа чрез почвения параметър S: клас А (най-благоприятни, скорости на напречните вълни v_s от 800 до 400 m/s, $S=1.0$), клас В (средни, v_s 350-200 m/s, $S=1.0$) и клас С (слабо кохезионни, v_s до 200 m/s, $S=0.9$).

За нуждите на ЕС8 националните територии следва да се разделят на сеизмични зони, във всяка от които се приема, че сеизмичната опасност е една и съща. В по-голямата част на ЕС8, земетръсната опасност се представя с един параметър-величината a_g , представляваща ефективното пиково ускорение на почвата за скална основа с референтен възвръщащ период от [475] години. За този период фактора за важност γ_1 се приема да е 1.0. Сеизмични зони с $a_g \leq [0.10]g$ (g -земно ускорение) са слабо сеизмични и за тях могат да се прилагат упростени проектни процедури за определени типове конструкции. ЕС8 не е необходимо да се прилага в зони с $a_g \leq [0.04]g$.

В ЕС8 земетръсното движение за дадена точка на земната повърхност се представя чрез “еластичен спектър на реагиране” ($S_e(T)$) на ускорението на почвата. Хоризонталното сеизмично движение се представя с две ортогонални компоненти, имащи един и същ $S_e(T)$. Вертикалната компонента се представя чрез хоризонталния $S_e(T)$, намален както следва: $[0.70]S_e(T)$ за периоди $T < 0.15$ s, $[0.50]S_e(T)$ за $T > 0.50$ s и линейна интерполация между тези две стойности за $0.15s \leq T \leq 0.50s$. При специални условия може да е необходим повече от един XSE(T). Особени случаи биха били ефекти от близки и далечни земетресения, различни огнищни механизми, дълбочини на източниците (плитки, междинни) или вариации в строежа на средата през която минават вълните. В такъв случай са необходими различни стойности на a_g за отделните специфични земетръсни въдействия. В зависимост от периода T на линейна система с една степен на свобода, спектъра $S_e(T)$ се определя по следните формули

$$(3) \quad S_e(T) = a_g S [1 + (T/T_B)(\eta\beta_0 - 1)] \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$(4) \quad S_e(T) = a_g S \eta \beta_0 \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$(5) \quad S_e(T) = a_g S \eta \beta_0 (T_C/T)^{k_1} \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$(6) \quad S_e(T) = a_g S \eta \beta_0 (T_C/T_D)^{k_1} (T_C/T)^{k_2} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

където: β_0 -усилващ фактор на спектраното ускорение за 5% вискозно затихване; T_B , T_C -границы на участъците с константно спектрално ускорение от спектралната

крива ($T_B=[0.10,0.15,0.20]$ и $T_B=[0.10,0.15,0.20]$ за $S=1.0,1.0,0.9$ съответно); $T_D=[3.0]$ -стойност определяща началото на областта с постоянна спектрална амплитуда на преместването; $k_1=[1.0]$ и $k_2=[2.0]$ -експоненциални коефициенти, влияещи на формата на спектъра за периоди над T_C и T_D съответно; η - фактор за корегирание на затихването ($\eta=1$ за 5% вискозно затихване, $\eta=[7/(2+\xi)]^{1/2} \geq 0.7$, ξ -вискозно затихване в %).

Пиковата амплитуда на преместване на почвата d_g , когато няма специални изследвания, може да се определя по формулата

$$(7) \quad d_g=[0.05]a_g S T_C T_D .$$

При линеен анализ, но с отчитане на възможностите на конструктивните системи да се съпротивляват на сеизмичните сили в нелинеен стадии, позволява тези сили могат да бъдат по-малки от линейното еластично реагиране. В такъв случай, проектният спектър $S_d(T)$ е редуциран и модифициран вариант на $S_e(T)$. Редукцията се контролира от фактора q ($1 \leq q \leq 6$) за поведение на конструкциите (при определена дактилност). На практика, фактора q е реципрочен на коефициента R за реагиране на конструкцията при сеизмични въздействия в българските норми; $S_d(T)$ е нормализиран към g и се получава от $S_e(T)$, като a_g се заменя с отношението $a_g/g=\alpha$, вместо β_0 се използва дробта β_0/q и коефициентите k_1 и k_2 се заместват съответно от $k_{d1}=[2/3]$ и $k_{d2}=[5/3]$.

В ЕС8 се предвиждат и алтернативни сеизмични характеристики, свързани с магнитуда на земетресението, продължителността на излъчване и др, като: спектрална мощност на ускорението (сеизмично въздействие като случаен процес), реални акселерограми, велосиграми или сеизмограми с амплитуди на преместването (процес развиващ се във времето) или синтетични (изкуствени) акселерограми. Алтернативните характеристики са описани твърде общо, като само са споменати техните най-съществени белези. Последното подсказва, че от методическа гледна точка все още съществуват извесни трудности, главно от дефиниционно-стандартизационен характер за най-масовото им използване в практиката.

По-нататък в ЕС8 се осъществява комбинирането на сеизмичните и останалите натоварвания в конструкциите, което рефлектира в конкретни инженерни решения за различните типове сгради и съоръжения.

Едно сравнение на редуцирания спектър $S_d(T)/\alpha$ от ЕС8 и $\beta=\beta(T)$ от БН87 при $\alpha=K_c$ и $q=1=R$ сочи приблизително следното: за най-малките периоди $T < T_B$ правата $\beta=2.5$ успоредна на абсцисата лежи над редуцирания спектър на ЕС8, като разликата от 2.25-2.5 пъти линейно намалява с приближаване към $T_B \approx 0.2$ s; за периоди $0.40 \approx T_C < T$, в частност при $T \approx 1$ s, кривата на $\beta(T)$ може да се окаже с до 2 пъти по-ниски стойности от ЕС8; за периоди $T > T_D$ стойностите на $\beta(T)$ остават големи (до 2.5 пъти при $q=2-3$ и $R=0.3-0.5$) от спектъра на ЕС8.

В световната практика ЕС8 са последните и най-модерни норми за проектиране на сгради и съоръжения в земетресни райони. Те са резултат на широко колективно творчество и обобщават опита на редица водещи и високо развити страни в областта на сеизмичното строителство. Даже и в тези норми са изключени ядрените инсталации, което още веднъж потвърждава тяхната специфичност,

включително и в частта за определяне на проектните им сеизмични характеристики. Както става ясно от горното изложение, алтернативните на $S_d(T)$ методи, като използване на акселерограми (велосиграми), както и разглеждането на сеизмичното въздействие като случаен процес с определена продължителност, ще следва да се имат предвид при подбора на подходите за оценяване на проектните сеизмични характеристики за ядрените инсталации.

Забележка: Настоящата лекция се основава изцяло на текста, залегнал в

РЪКОВОДСТВО ЗА СЕИЗМИЧНА ПРЕОЦЕНКА И ПРОЕКТИРАНЕ НА ЯДРЕНИ СЪОРЪЖЕНИЯ

*МЕТОДИКА ЗА СЕИЗМИЧНА
КВАЛИФИКАЦИЯ НА АЕЦ
“КОЗЛОДУЙ”*

Рамков договор №. 2208011/21.01.2002 с АЕЦ “Козлодуй”
на фирмата “Риск Инженеринг” АД. Ст.Шанов е член на авторския колектив.