

11. Закони за затихване на сеизмичната енергия, влияние на геоложкия строеж

Оценка на възможните максимални ускорения от земетресения

Емпиричните зависимости между хоризонталното ускорение a , магнитуда на земетресението M , епицентралното разстояние R и дълбочината H на хипоцентъра са публикувани от редица автори, като се използват данни от реални регистрации от целия свят. Анализът на тези емпирични зависимости (Faccioli, 1977) е показал, че най-удачната зависимост има общата формула:

$$a = a' 10^{bM} (R + 25)^{-c}$$

Коефициентите a' и b са различни при отделните автори и зависят от извадката данни, които те са ползвали. В общи линии всички зависимости се отнасят за средни грунтови условия, т.е. за достатъчно консолидирани скали на строителната основа. За практически нужди се оказват удобни за използване следните регресионни коефициенти:

Таблица 11.1. Емпирични регресионни коефициенти за изчисляване на максималното ускорение от земетресения

Автори	a'	b	C
Faccioli, 1977	1934.4	0.140	1.103
McGuire, 1974	472.3	0.278	1.301
Donovan, 1973	1080	0.217	1.32

Тази емпирична зависимост не отчита хипоцентралната дълбочина на земетресението, но всички данни са от корови земетресения. Резултатът се получава в единици gal.

Изследване, направено от български колектив (Vutkov et al., 1985; Vutkov et al., 1986) използва и хипоцентралната дълбочина, като емпиричната зависимост е от друг вид и дава възможности за въвеждане на корекции за реалните грунтови условия чрез акустичната твърдост. При тази зависимост се преминава през интензивността на земетресението I чрез формулата:

$$I = \frac{M}{0.75} - \frac{\sqrt{R^2 + H^2}}{362.59} \lg \sqrt{R^2 + H^2}$$

От нея се преминава към определяне на ускорението в gal при средни грунтови условия - плътни, компактни глинесто-песъчливи седименти:

$$a = \frac{11211.428}{(1.928571 - 0.0714285I)^{(13.155 - 0.935I)}}$$

Акустичната твърдост е произведението от скоростта на надлъжните сеизмични вълни и обемната плътност на скалата. Приема се, че средната акустична твърдост при избраните грунтови условия е $A_r = 1.3 \cdot 10^3$.

$$A_r = V_p \rho \text{ [t/sec.m}^2\text{]}$$

Тогава поправката за реалните грунтови условия за интензивността се въвежда чрез:

$$\Delta M = \frac{\lg a \lg h}{4} \left(\frac{\lg 1.3}{\lg A_r} \right)$$

Следва преизчисляване на ускорението a с новата стойност $I+\Delta I$.

Изчисленията по формулите на Voutkov et al. (1986), правени за други обекти на територията на страната, показват завишаване на очакваните ускорения за магнитуди над 7.0, получава се очевидно противоречие с резултатите от другите емпирични зависимости и практически използването на този подход е оправдан за земетресения с M под 7.0 и за отчитане на влиянието на реалните грунтови условия.

В последните години се появиха и други зависимости, които се основават на нови данни, получени при реални регистрации от Европа. Например, емпиричната зависимост на Ambraseys (1995) е по 1260 записа от 619 корови земетресения в Европа:

$$\log a = -1.06 + 0.24 M_s - 1.016 \log r - 0.00045 r + 0.25 P,$$

където a е максимално хоризонтално ускорение в части от g ; M_s е магнитуд по повърхностни вълни; $r = \sqrt{d^2 + h^2}$ (тук d е най-късото разстояние от точката на изследване до повърхностната проекция на сеизмогенериращата структура и h е хипоцентралната дълбочина на земетресението, като и двете величини са в km). Ако $P=0$, то оценката е за 50% доверителен интервал, а $P=1$ е за 84% доверителен интервал.

Следващата зависимост (Ambraseys et al., 1996) се основава на 422 триаксиални записа от 157 земетресения с магнитуд между 4.0 и 7.9 от Европа и околните територии. В нея се използва и възможност за въвеждане на поправка за грунтовите условия:

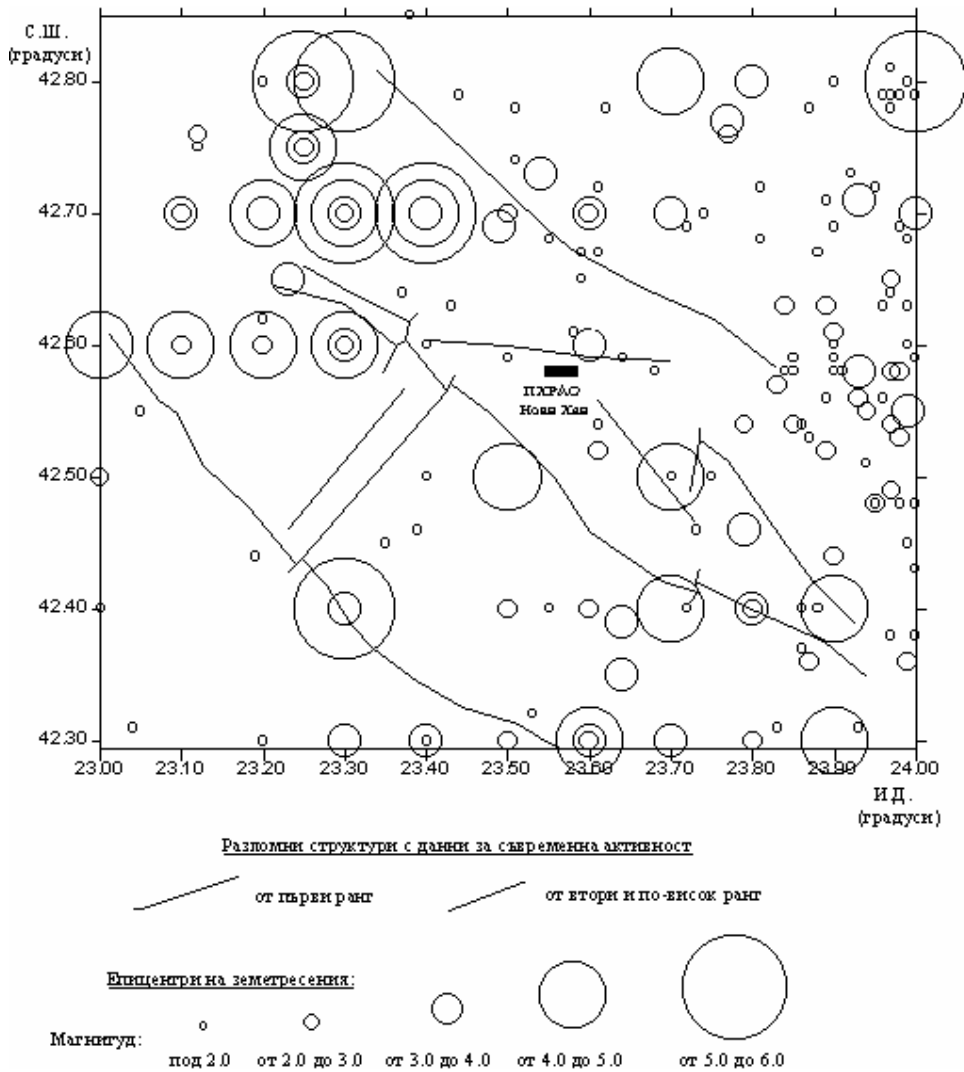
$$\log a = -1.48 + 0.266 M_s - 0.922 \log r + 0.117 S_a + 0.124 S_s + 0.25 P$$

където означенията са както в предната формула; $S_a=1$ за плътни почви ($V_s=360-750$ m/sec) или 0 в противен случай; $S_s=1$ за меки почви ($V_s=180-360$ m/sec) или 0 в противен случай. Прието е от авторите на формулата, че хипоцентралната дълбочина е константа и е 3.5 km, но нашите анализи показаха, че така се завишават изключително силно оценките (около 2 пъти в зависимост от магнитуда и разстоянието).

Пример за пълно изследване на очакваните сеизмични въздействия (ПХРАО “Нови хан”)

По-долу е представен пример за решаване на сеизмичния хазарт на площадката на ПХРАО “Нови хан”, с използването на емпиричните връзки между магнитуда на земетресенията, разстоянието до изследваната площ и ускоренията на почвата.

На фиг. 11.1 са представени основните разломи, за които има данни за неотектонска активизация в радиус около 50 км около ПХРАО “Нови хан” или се приемат за съвременно активни (Pashova et al., 2002) по най-новите GPS изследвания. Нанесени са и всички известни земетресения за периода от 1400 г. до 1999 г. Ясно проличава групирането на по-силните земетресения на СЗ от София (Софийска зона) и в района на Самоков. Голямото количество по-слаби земетресения (с M до 4.0) подчертават като цяло активността по всички сегменти (разломи от по-висок ранг) от западните структури на Маришката разломна зона. Най-близкият активен разлом, но с относително слаба регистрирана сеизмичност по него е Лозенският, отстоящ на около 4 км северно от ПХРАО “Нови хан”.



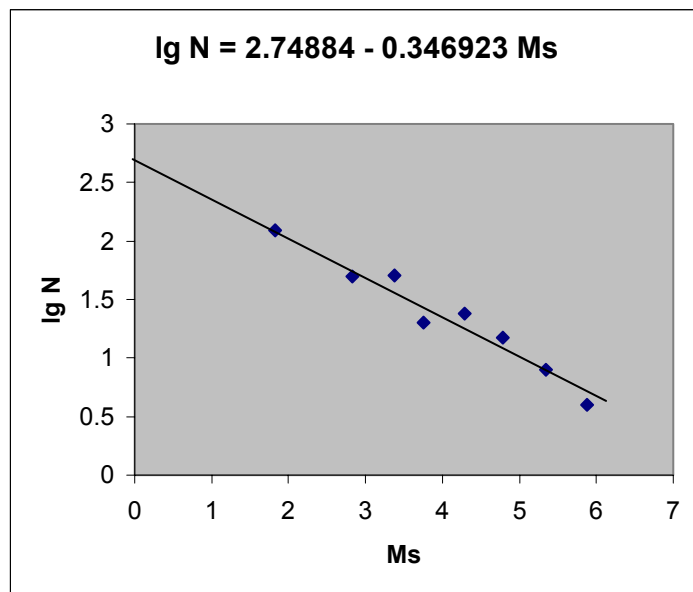
Фиг. 11.1. Разломни структури и епицентри на земетресения около площадката на ПХРАО “Нови хан”

Общият брой на сеизмичните събития върху картата на фиг. 11.1 е 295. Дълбочината на огнищата не е достатъчно точно определена, но има тенденция за концентрация на събитията в интервала между 5 и 10 km дълбочина, като за по-силните земетресения дълбочината нараства, но всички събития са в земната кора. Графикът на повтаряемост е за период от 545 г. и е изведен с групиране на слабите земетресения (тези с $M_s < 2$), тъй като за тях данните са недостатъчни (фиг. 11.2).

Изведената линейна регресия е:

$$\lg N = 2.74884 - 0.346923 M_s$$

където N е количеството на земетресенията с магнитуд M_s . От тази регресия може да се изчисли, че силни земетресения, например с магнитуд 6, може да се очакват с периодичност около 117 г. Този резултат е доста близък до реалността, защото за периода от 545 г. са регистрирани 4 събития с такава сила.



Фиг. 11.2 График на повтаряемост за 50 километровата зона около ПХРАО “Нови хан”

Като генерален извод, може да се твърди, че площадката попада в район с едно от най-високите нива на сеизмична активност за територията на страната. Благоприятно условие е, че площадката попада в относително стабилизирани тектонски блок и през нея не преминават активни разломи.

Оценка на сеизмичната опасност

За целите на изготвянето на прогнозни карти за сеизмичното райониране на територията на България в края на 70-те години на миналия век е приложен метод, разработен от група учени от България и Русия (Voncev et al., 1982). Този метод се основава на широк комплексен подход при анализа на изходните материали, които включват геоложки, геофизични, геодезични, дистанционни и сеизмоложки данни (повече от 70 различни карти и графични материали). В резултат е изработена комплексна карта на Възможните Огнища на Земетресения (зони ВОЗ). Картата е била също използвана за построяване на изосейстни карти за VI-IX степен за различни времеви интервали.

По картата на сътресяемостта за период от 1000 години площадката попада върху територия с интензивност от VIII степен. По картата на сътресяемостта за период от 10 000 години интензивността е от IX степен по МШК-64.

Направените комплексни оценки са и основата за Националните Норми за строителство в земетръсни райони (1987). Според тези норми, площадката ПХРАО “Нови хан” може да се очаква да бъде подложена на сътресения с интензивност от IX степен и при сеизмичен коефициент $K_c = 0.27$ (очаквано земно ускорение в части от g). Тези норми се отнасят за обикновеното гражданско строителство и за отговорни съоръжения, каквото е ПХРАО “Нови хан” те могат да служат като ориентировъчни значения. Препоръчително е да се направят специални изследвания за сеизмичния риск на конкретните сгради и съоръжения на площадката. Това се налага, защото практически интензивност IX степен може да се прояви с ускорения в доста по-широк диапазон, при долна граница $0.20 g$, докато горната граница достига до около $0.43 g$ (Okamoto, 1973). Стойността $0.27 g$ е предписана като експертна оценка за Нормите за строителство в земетръсни райони в България.

Според други анализи (Algermissen et al., 1976), площадката на ПХРАО “Нови хан” попада в район с изчислено ускорение 0.32 g с вероятност 70 % да не бъде надвишено за 200 години.

По-долу ще бъде направена оценка на сеизмичната опасност (сеизмичния хазарт) чрез сеизмотектонско прогнозиране за площадката на ПХРАО “Нови хан”. Подобна оценка е базова за всякакви следващи анализи за сеизмичния риск.

Сеизмотектонско прогнозиране

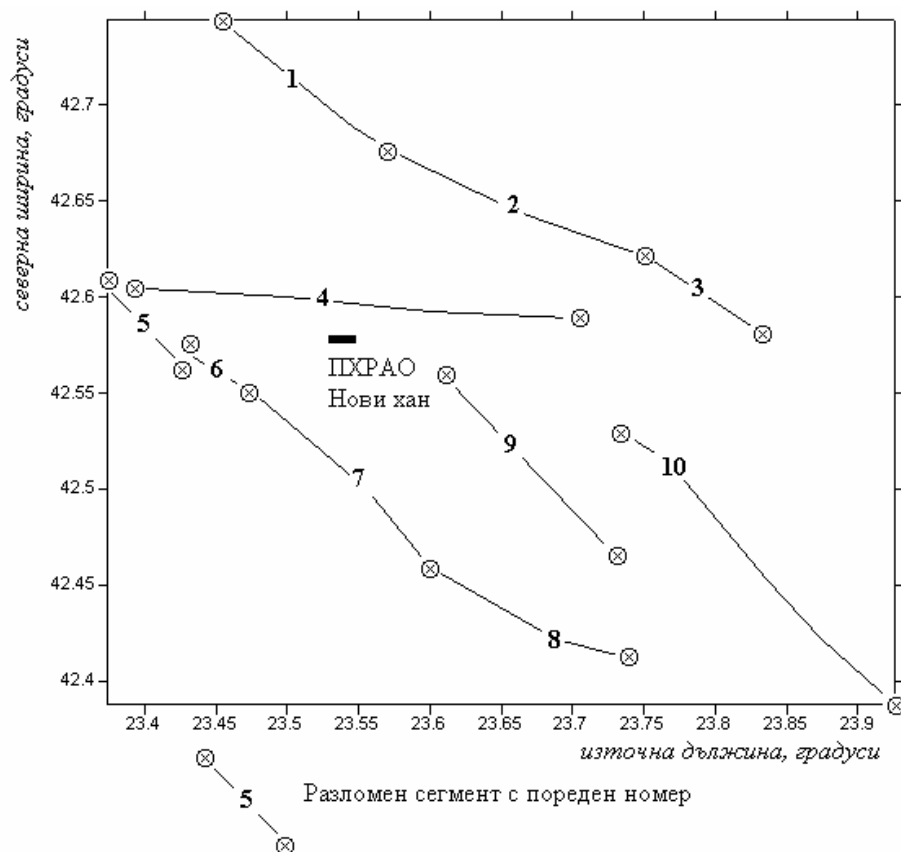
За прогнозиране на потенциалната сеизмична опасност е използвана Картата на комплексните линеаментни възли и методиката за оценка на техния потенциал за земетресения (Voncev et al., 1982). Практически, това са местата на пресичане на най-изявените тектонски разломни структури, чиято активност е била установена чрез геоложки, геофизични, сеизмоложки, дистанционни и други методи. Въпреки несъвършенството на тази методика, тя е в основата на понастоящем действащите нормативни документи в страната за строителство в земетръсни райони.

Според картата със сеизмотектонските възли в разглежданата територия (виж Voncev et al., 1982, фиг. 10) има 7 сеизмотектонски възела, от които 3 са от 1-ви ред и 4 от втори. В зависимост от сеизмотектонския потенциал на територията, в която те попадат, могат да се определят максималните магнитуди, които биха могли да се очакват от тези възли (използват се таблици 12 и 13 от същата публикация). В Таблица 11.2 са дадени условните наименования на възлите, прогнозираният максимален магнитуд M_{max} за всеки от тях, най-вероятната хипоцентрална дълбочина на очакваното земетресение H и разстоянието D до площадката на ПХРАО “Нови хан”.

Таблица 11.2. Сеизмотектонски възли с прогнозирани силни сеизмични въздействия върху площадката на ПХРАО Нови хан.

Сеизмотектонски възел	M_{max}	H [km]	D [km]
1. Крупник	8.0	20	118
2. Кюстендил	7.0	20	62
3. Самоков	8.0	20	31
4. Ихтиман	7.0	20	22
5. Мирково	7.5	20	38
6. Чепинци	7.0	20	54
7. Трън	7.0	20	35

До площадката на ПХРАО “Нови хан” е отбелязано наличието на още един сеизмотектонски възел от 2-ри ред, но в този случай е препоръчително да се анализират конкретните разломни структури в непосредствена близост, да се определи тяхната способност да генерират земетресения и разкъсвания на земната повърхност, опасни за съоръженията на площадката (A Safety Guide, 1994). Разломните сегменти около площадката на ПХРАО “Нови хан”, които се приемат за способни да генерират земетресения, са номерирани от 1 до 10. Според най-новите изследвания (Wakizaka, 1999), разлом с дължина под 10 km не може да доведе до повърхностно разломяване. Следователно, тези разломни сегменти, отбелязани на фиг. 11.3 с номера 3, 5 и 6 няма да се вземат предвид при оценката на сеизмичната опасност, защото те са по-къси от 10 km.



Фиг. 11.3. Активни разломи около площадката на ПХРАО “Нови хан”

В световната практика се е наложила методика за оценка на максималното потенциално земетресение чрез прилагане на емпирични връзки между дължината на активните сегменти от разломи и магнитуда на очакваното земетресение, като се отчита категорията на активност на структурата. Използват се данните от повърхностни разкъсвания по активните разломи при силни земетресения. Повечето от изведените формули претендират за глобална валидност, но практиката показва, че това не е вярно. Други са изведени от регионални данни и, съответно, могат да се прилагат за конкретни територии. Например, за Източното Средиземноморие е изведена формулата (Ambraseys, Jackson, 1998):

$$M = 5.13 + 1.14 \log L$$

където L е дължината на сегмента от активен разлом в km, а M е магнитуд по повърхностни вълни. В извеждането на тази формула са включени и земетресения от българска територия.

След поредицата силни земетресения на турска територия през последните години, бяха публикувани някои нови емпирични зависимости за връзките между дължината на разлома L и магнитуда по повърхностни вълни M_s на земетресението, което може да се генерира (Aydan et al., 2001):

$$L = 0.0014525 M_s e^{1.31 M_s}$$

Ако се използват тези формули, то тогава се получават оценките, представени в Таблица 11.3. Дадени са и най-късите разстояния от площадката на ПХРАО “Нови хан” до съответния разломен сегмент.

Таблица 11.3. Активни разломни сегменти с прогнозираны силны сеизмичны въздействия върху площадката на ПХРАО “Нови хан”.

Номер на разломния сегмент	Дължина [km]	Оценка на M_{max}		H [km]	D [km]
		По Amraseys, Jackson, 1998	По Aydan et al., 2001		
1	12	6.3	5.6	15	18
2	16	6.5	5.8	15	12
4	25	6.7	6.1	20	20
7	14	6.4	5.7	15	9
8	12	6.3	5.6	15	12
9	14	6.4	5.7	15	4
10	22	6.6	6.0	20	12

От таблицата се вижда, че най-опасен се очертава Лозенският разлом (под номер 4). Това влиза в известно противоречие с факта, че в близки до площадката на ПХРАО “Нови хан” разкрития се доказва неговата фосилизация от плиоценски седименти. Но в същото време, на фиг. 11.1 бе показано наличието на слаба сеизмична активност, която може да се свърже с Лозенския разлом. За целите на практиката е препоръчително да се приеме консервативното решение за потенциална способност на този разлом, или сателитна, неразкриваща се на повърхността разливна структура, свързана с него, да генерира земетресение с магнитуд 6.7. За всички разломни сегменти, в следващите анализи, се приема решението по Amraseys, Jackson (1998), което също е консервативен, но оправдан избор за съоръжения от типа на ПХРАО “Нови хан”.

Изчисленията за максималните очаквани въздействия са направени по шестте представени емпирични зависимости, като само за сеизмотектонските възли е изключена оценката по формулите на Voutkov et al. (1986).

В Таблица 11.4 са показани резултатите от оценките по по-горе представените формули за сеизмотектонските възли и активните разломни сегменти около площадката на ПХРАО “Нови хан”. Неголемите разлики, получени от оценките по различните формули дават основание за изчисляването на средно оценъчно ускорение a_{cp} за сеизмичното влияние върху площадката от всяка от сеизмотектонските структури.

От таблицата ясно се вижда, че поне шест от структурите биха могли да генерират земетресения, ускоренията от които на площадката ще надхвърлят стойността 0.27 g. Три от тези структури имат потенциал да въздействат и с ускорения, надминаващи прогнозираната стойност от 0.32 g (Algermissen et al., 1976).

Като се изхожда от значимостта на съоръженията на площадката на ПХРАО Нови хан, **предлага се да бъде прието като максимално очаквано ускорение за площадката $a_{max}=0.36$ g.**

В случая не се прави разчет за периода на възвращаемост, т.е. това е максималната прогнозирана стойност, която може някога да се случи да въздейства на площадката на ПХРАО “Нови хан”.

Таблица 11.4. Резултати от оценката на максималните очаквани хоризонтални ускорения от земетресения, генерирани от сеизмотектонските структури около площадката на ПХРАО “Нови хан” (за средни грунтови условия, в части от земното ускорение)

Емпирична зависимост по:	Сеизмотектонски възли <i>a</i> [в части от <i>g</i>]							Активни разломни сегменти <i>a</i> [в части от <i>g</i>]						
	Круп- ник	Кюс- тендил	Само- ков	Ихти- ман	Мир- ково	Чепин- ци	Трън	1	2	4	7	8	9	10
Faccioli, 1977	0.11	0.14	0.31	0.27	0.23	0.15	0.21	0.24	0.29	0.42	0.32	0.28	0.38	0.31
McGuire, 1974	0.13	0.13	0.43	0.28	0.27	0.14	0.21	0.20	0.28	0.44	0.29	0.25	0.36	0.30
Donovan, 1973	0.09	0.10	0.30	0.23	0.20	0.11	0.16	0.18	0.24	0.37	0.26	0.22	0.32	0.25
Voutkov et al., 1986								0.23	0.27	0.31	0.26	0.24	0.26	0.29
Ambraseys, 1995	0.10	0.11	0.35	0.25	0.22	0.12	0.18	0.22	0.30	0.32	0.32	0.27	0.34	0.26
Ambraseys et al., 1996 Плътни почви	0.13	0.12	0.37	0.24	0.24	0.13	0.19	0.20	0.27	0.29	0.29	0.24	0.30	0.24
Средна стойност	0.11	0.12	0.35	0.25	0.23	0.13	0.19	0.21	0.28	0.36	0.29	0.25	0.33	0.28

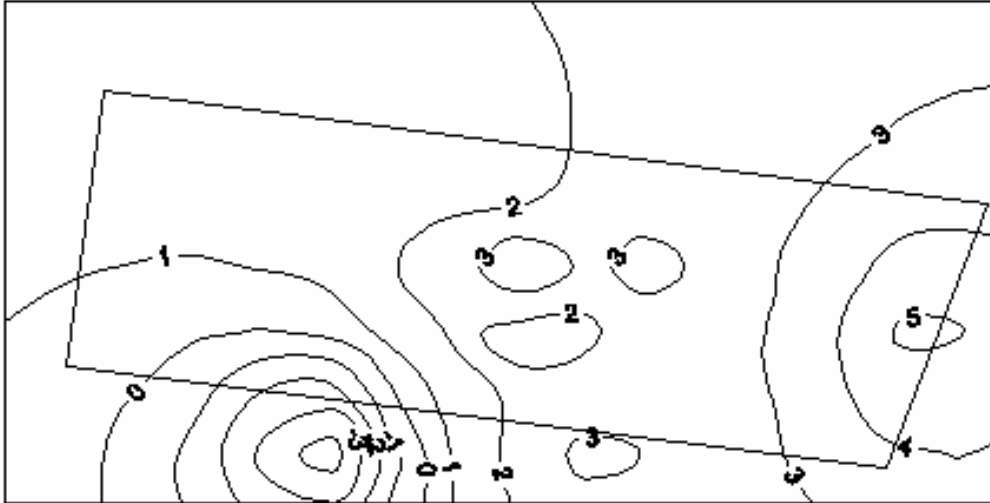
Оценка на относителните изменения на ускоренията на територията на площадката на ПХРАО “Нови хан”, в зависимост от грунтовите условия са изчислени за тези точки от площадката и околните площи, за които имаше данни за скоростта на сеизмичните вълни и за плътността и дебелината на скалите от най-горния, почвен и изветрял слой. За тази оценка се използва подхода на Voutkov et al. (1986).

В Таблица 11.5 са дадени тези ускорения, които биха се получили при условие на свободна земна повърхост, като най-горният слой съдържа почвената покривка, насипния материал (където има такъв), изветрелите и силно нарушени филити. Този слой е с променлива дебелина и свойства в обхвата на площадката на ПХРАО “Нови хан”. Плътността и скоростната характеристика са с осреднени или експертно уточнени стойности за всяка от представените точки. Направена е и оценка за процентното изменение на ускорението спрямо стойността за средни грунтови условия.

Таблица 11.5. Резултати от оценката на вариациите на максималното очаквано хоризонтално ускорение от земетресения за площадката на ПХРАО “Нови хан”, в зависимост от конкретните характеристики на най-горната част на геоложкия разрез.

Точка с информация	V_p [km/sec]	ρ [g/cm ³]	h [m]	A [Δg]	$\frac{a - 0.36}{0.36} \cdot 100$ [%]
Сонд. Н2	0.89	2.44	10.8	0.343	- 4.72
Сонд. МС1	0.64	2.24	9.65	0.372	3.33
Сонд. МС2	0.60	2.14	8.8	0.379	5.27
Сонд. МС3	0.59	2.17	4	0.372	3.33
Сеизм.пр. 4, т.0	0.58	2.18	3	0.371	3.05
Сеизм.пр.7, т.0	0.59	2.17	2	0.367	0.56
Сеизм.пр.7, т.24	0.69	2.40	8	0.362	1.94
Сеизм.пр.7, т.48	0.66	2.25	4	0.366	1.67
Сеизм.пр.7, т.72	0.61	2.14	7	0.376	4.44
Сеизм.пр.7, т.96	0.37	2.05	1	0.362	0.56
Сеизм.пр.7, т.120	0.68	2.24	10	0.368	2.22
Сеизм.пр.7, т.144	0.55	2.17	3	0.373	3.61

Както се вижда от тази таблица, има известна вариация в оценките за ускорението в рамките на $\pm 5\%$ за територията на площадката, като най-добри се очертават условията в близост до сондаж Н2. Най-неблагоприятни са условията при сондаж МС2. Нагледно това е показано на фиг. 11.4, където в изолинии са показани процентните изменения на очакваното максимално ускорение от въздействията на земетресения по територията на площадката в зависимост от реалните условия на горната част на геоложкия разрез, носеща съоръженията на ПХРАО “Нови хан”.



Фиг. 11.4. Карта на процентните изменения на очакваното максимално ускорение от въздействията на земетресения върху площадката на ПХРАО “Нови хан”

Заклучение

Съгласно българските Норми за строителство в земетръсни райони сеизмичната интензивност за площадката ПХРАО “Нови хан” е **IX степен по MSK-64**, а сеизмичният коефициент е **$K_s=0.27$** при повтаряемост от 1 000 години. Нивото на важност на съоръжението за съхраняване на радиоактивни отпадъци налага да се ревизира критично тази стойност, като се изхожда от сеизмотектонската оценка за способността на геоложките структури от регионален и локален мащаб да генерират земетресения с непосредствено въздействие върху района на площадката на ПХРАО “Нови хан”. След направените по-горе анализи, **предлагаме да се приеме като максимално очаквано ускорение за площадката $a_{max}=0.36$ g, с вариации $\pm 5\%$ в зависимост от конкретните грунтови условия.**

Като общо заключение трябва да се подчертае, че всички по-горе изчислени параметри по емпирични зависимости нямат нормативен характер, но те трябва да се вземат предвид при изчисляване на сеизмичния риск за конкретните съоръжения на площадката на ПХРАО “Нови хан”.