

12. Геофизични и геоложки методи за изследване на конкретните грунтови условия на площадките на отговорни съоръжения при оценка на възможните сеизмични въздействия върху тях

Зоната на площадките на отговорни съоръжения се определя като територия, която се покрива от съответните съоръжения. Тя може да бъде 1 km^2 и повече. Основната цел на проучванията на тази площ е добавянето на детайлна информация за потенциала за непрекъснати премествания, както и предоставянето на данни за геотехническите свойства на материалите от земната основа. Изследванията на всяка площадката трябва да разширят и допълнят детайлите в данните от изследванията в близката зона около нея. В допълнение към геоложкото картиране трябва да се наблегне на определянето на физичните параметри на материалите на земната основа и да се определи тяхната стабилност и поведение при динамично земетръсно натоварване. Например, ако става дума за ядрено съоръжение, каквито са атомните електроцентрали, то се ще упражнява натиск върху носещия слой, което ще предизвиква напрежения до няколко стотин kPa. Ако този носещ слой се окаже нестабилен при земетресение, то възникналите напрежения в самата конструкция при деформациите на основата могат да доведат до значителни повреди. Следните изследвания трябва да се извършат при използване на геоложки, геофизични и геотехнически методи:

Геоложки и геотехнически изследвания

Изследвания със сондажни или изкопни работи, като се провеждат и тестове *in situ*, специални геофизични изследвания и лабораторни изпитвания, които да доведат до изясняване на стратиграфията и структурата на скалите на съответната площадка и да се определи дебелината, дълбочината на залягане, наклона, статичните и динамични свойства на различните пластове в дълбочина. Изследванията са насочени към изясняване на носещата способност на земната основа на площадката, определяне на слягането, подуването или наклоняването на основата, възможността за втечняване, влиянието на подземните води, устойчивостта на насипите и естествените склонове, сеизмичната характеристика и степента на хомогенност на площадката. Изследванията трябва да се проведат съгласно инженерно-геоложките изисквания с определяне коефициента на Поасон, модула на Юнг, модула на срязване, скорости на сеизмичните вълни, обемна и специфична плътност, якост на срязване, характеристика на уплътняване, на набъбване и на протичане, зърнометричен състав и т.н.

Параметрите се използват при съставяне на проектните геомеханични профили на площадката, които позволяват геотехническите анализи да бъдат изпълнени по логичен и съответстващ на изискванията начин. За установяване на геотехническите параметри съществуват редица методи за полеви проучвания и изследвания, както и много лабораторни методи. Трябва да се използват тези, които към момента на изследването достатъчно точно и еднозначно ще отговорят на изискванията за строителство на конкретното ядрено съоръжение.

Хидрогеоложки изследвания

Тези изследвания имат особено важно значение, доколкото хидрогеоложките особености на площадката могат да повлияят на реагирането на пластове на сеизмичното

въздействие. От друга страна хидрогеоложките условия са основен елемент от системата за пренос и замърсяване с радионуклеиди при аварийни ситуации.

При изследванията трябва да се определят:

- размерите и физичните свойства на основните водоносни пластове, структурата им, степента на еднородност, посока на затъване;
- режима на подземния регионален оток за всеки водоносен пласт;
- карта на водното огледало, като при недостатъчна информация, ако е необходимо се прокарат сондажи, включително и наблюдателни;
- модели, вземащи под внимание сезонните и краткосрочни изменения на режима на подземните води;
- физичните и химични характеристики на водоносните пластове чрез взимане на проби от тях за изследване в лаборатории;
- устойчивото поведение (водоотдаване и водопровеждане) на водоносните пластове под площадката, като се обърне специално внимание на тези от пластовете, които пряко взаимодействат с фундамента.

Геотехническите условия могат да отхвърлят площадки, попадащи на терени с потенциал за активизация на по-стари или съвременни свлачищни повърхности, терени покрити с дебели неконсолидирани наслаги или наслаги, имащи потенциал за втечняване, слягане, пропадане, накланяне на терена, обрушване на склонове и в зони на кален вулканизъм, ако не са възможни инженерни решения, които да гарантират, че съответните съоръжения могат да бъдат построени и да функционират с приемливо нисък риск за населението в района.

Пример за проведени геофизични проучвания на АЕЦ “Козлодуй”

За сигурността на площадката на АЕЦ “Козлодуй” основни са изследванията за скоростите на сеизмичните Р и S вълни в различните инженерногеоложки видове строителни почви. Сеизмични изследвания за тази цел са извършвани на различни етапи от проектирането и строителството на атомната централа. Първите експериментални изследвания за определяне на място (*in situ*) скорости на сеизмичните вълни в пластовете са проведени пред 1979 г. Особено важни са последните изследвания, в които се използват техническите и методически възможности на “Енергопроект”, на Геофизичния институт на БАН и на “Геология и геофизика” АД.

Специален динамичен полигон, близо до блокове 5 и 6 (фиг.12.1) от сондажи с дълбочини от 10 до 500 m е използван за определяне на разпространението и скоростите на взривните вълни. Използвани са стандартни схеми за прав и обратен сеизмокартаж за измерване разпространението на вълните с трикомпонентна регистрация. Чрез интегралния метод, скоростите са регистрирани от дъното към повърхността или обратно и скоростите в отделните пластове не могат да бъдат дефинирани много добре, така че са се наложили допълнителни интерпретации.

Паралелно с полевите сеизмични изследвания са взети и изследвани и ненарушени (от свързаните) и нарушени (от несвързаните) проби от почвите за ултразвукови изследвания за определяне лабораторно на скоростите V_p и V_s , коефициентите на Пуасон (μ) и динамичния модул (E_d), както и за определяне на естествената им плътност (ρ_n). При сеизмичното прозвучаване (СПР) с наличната апаратура и при реалното разстояние между двата сондажа, вземайки предвид и отклоненията на сондажите в плюс и минус чрез

инклинометрия, грешката на определенията е около 1%.

При правия (ПСК) и обратния (ОСК) сеизмични каротажи точността на измерванията зависи от разстоянието между точките на ходографа, дебелината на пластовете и броя на изследваните точки от тях. В случая, разстоянието между точките на ходографа е 1.0м. за ПСК и 2.0м. за ОСК. При тези условия и дебелината на пластовете грешката е в допустимите граници за този вид изследвания (под 10%).

Сравняването на получените резултати, освен присъщите на различните методи различия, дават указания и за наличие на известна анизотропия в профила, особено ясно изразена в интервалите 21.0-33.0 m и 149.0-158.0 m от повърхността.

На строителната площадка на АЕЦ "Козлодуй" са извършвани редица изследвания за скоростите на сеизмичните вълни. Последните от тях са извършвани конкретно за условията на площадката на енергоблок 5.

Скоростта на напречната вълна (V_s) е определена чрез полеви сеизмични изследвания. Тя е свързана с модула на срязване чрез следната зависимост:

$$G_0 = \rho_n \cdot V_s^2.$$

Където ρ_n е обемната плътност в естествено състояние на съответния инженерногеоложки вид, получена от лабораторните изследвания с отчитане на влиянието на подземните води.

Във връзка с определянето на скоростите на сеизмичните вълни в почвите от профила на строителната площадка са извършени следните сеизмични изследвания:

- (1) Сеизмично прозвучаване между сондажи (СПР) - на дълбочина от 1.5 до 242 m.
- (2) Прав сеизмичен каротаж (ИСК) - дълбочина от 20.7 до 244 m.
- (3) Обратен сеизмичен каротаж (ОСК) - на дълбочина от 114.0 до 242 m.
- (4) Надлъжно повърхностно профилиране (НСП).

Анализът и обобщаването на резултатите от всички сеизмични изследвания води до следните твърде важни за реагирането на площадката и анализа на взаимодействието "почва-конструкция" изводи:

- Скоростта на сеизмичните вълни (V_p и V_s) нарастват на дълбочина под 200 m, недължащо се на наблюдаваната в някои интервали анизотропия. В този смисъл установените закони за нарастването на скоростта на напречната вълна (V_s) в дълбочина, установени чрез изследвания на микротрептенията могат да бъдат строго реални само под тази дълбочина.
- Различията в скоростите, определени по различните методи, при липса на анизотропия, се дължат на различното влияние на някои фактори върху точността на различните методи. Общо взети обаче, всички използвани методи са с грешка под 10%.
- Анализът на измененията на естествената обемна плътност (ρ_n) на почвите в дълбочина до 345 m показва, че под тази дълбочина съществено увеличение на естествената плътност на плиоценските мергелни глини и пясъци не може да се очаква.

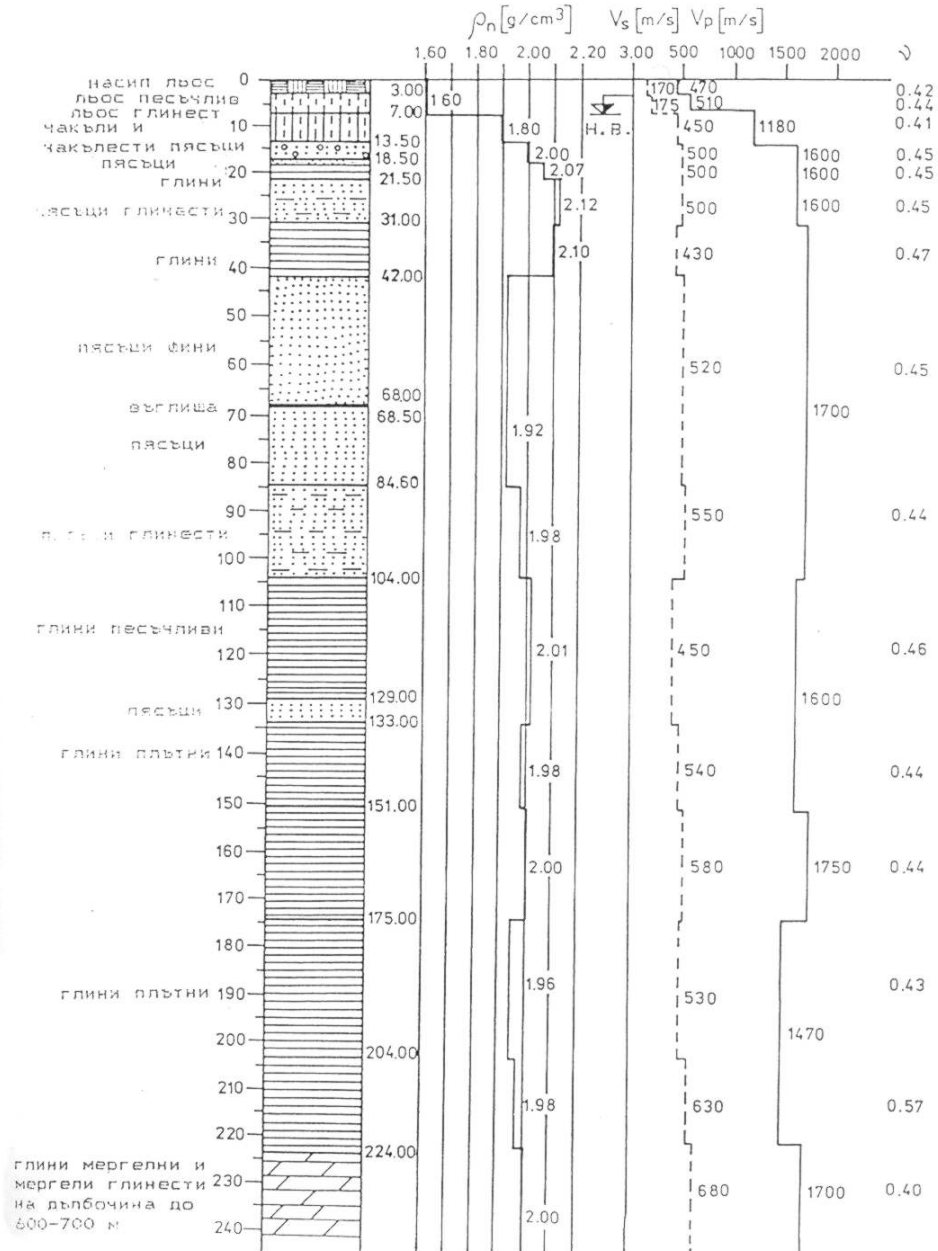
На базата на резултатите от извършените до 1992 г. изследвания, включително и някои допълнителни изследвания и анализи в Отчета на Геофизичния институт на БАН от 1994 г, се предлагат обобщени разчетни данни за проектния геотехнически сеизмичен модел за "свободна повърхност" на строителната площадка (Табл.12.1).

Таблица 12.1. Обобщени данни за геотехническия сеизмичен модел на профила "свободна повърхност" на строителната площадка

№ на слоя	ЛИТОЛОЖКО ОПИСАНИЕ	Дълбочина от свободната повърхност (кота 34.7) h, m от. . до. .	Дебелина H, m	Скорости V		Обемна плътност ρ_n	Коефициент на Пуасон μ
				Vs m/s	Vp m/s		
(1) Полево определени							
1.	Насипи от лъсови материали	0.0 - 3.0	3.0	170	470	1.60	0.42
2.	Лъос пясъчлив	3.0 - 7.0	4.0	175	540	1.60	0.44
3.	Лъос глинест	7.0 - 13.5	6.5	450	1180	1.80	0.41
4.	Пясък чакълест, в основата заглинен	13.5 - 18.5	5.0	500	1600	2.00	0.45
5.	Глина плътна, слабо изветряла	18.5 - 21.5	3.0	500	1600	2.00	0.45
6.	Пясък фин, глинест на места чакълест	21.5 - 31.0	9.5	500	1600	2.12	0.45
7.	Глина пясъчлива	31.0 - 42.0	11.0	430	1700	2.10	0.47
8.	Пясък фин, глинест	42.0 - 84.6	42.6	520	1700	1.92	0.45
9.	Пясък фин, силно глинест	84.6 - 104.0	19.4	550	1700	1.98	0.44
10.	Глина силно Пясъчлива до Силно глинест пясък в основата	04.0 - 155.0	29.0	450	1600	2.01	0.46
11.	Глина мергелна, плътна	55.0 - 151.0	18.0	540	1600	1.98	0.44
12.	Глина мергелна, плътна	151.0 - 175.0	24.0	580	1750	2.00	0.44
13.	Глина мергелна, плътна	175.0 - 204.0	29.0	550	1470	1.96	0.45
14.	Глина мергелна, плътна	204.0 - 224.0	20.0	630	1470	1.98	0.57
15.	Мергел глинест	224.0 - 245.0	21.0	680	1700	2.00	0.40
(2) Разчетни (приети)							
16.	Мергел глинест с прослойки от сбити пясъци (сеизмична основна скала)	245-0-265.0	20.0	705	1760	1.96	0.40
17.	Мергел глинест с прослойки от плътни пясъци	под 265.0	-	>705	>1760	2.00	-

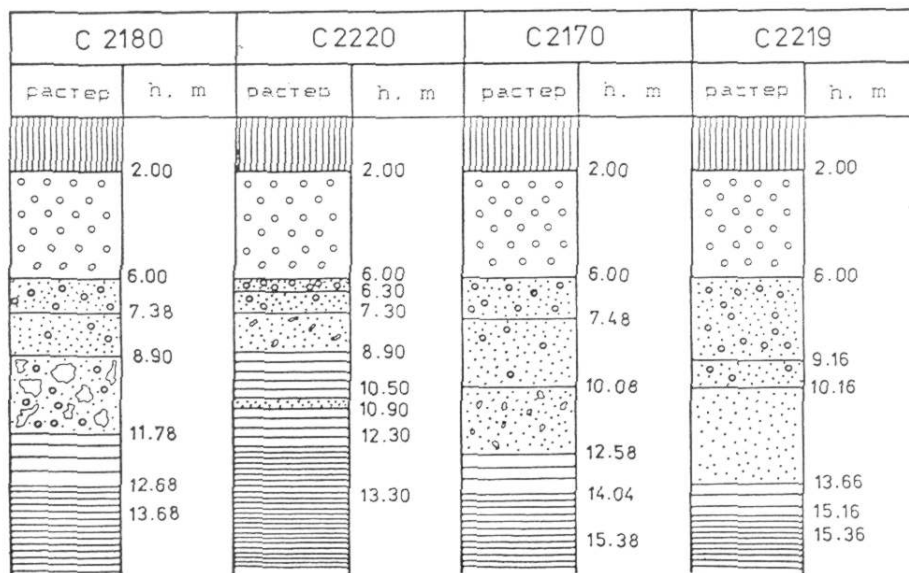
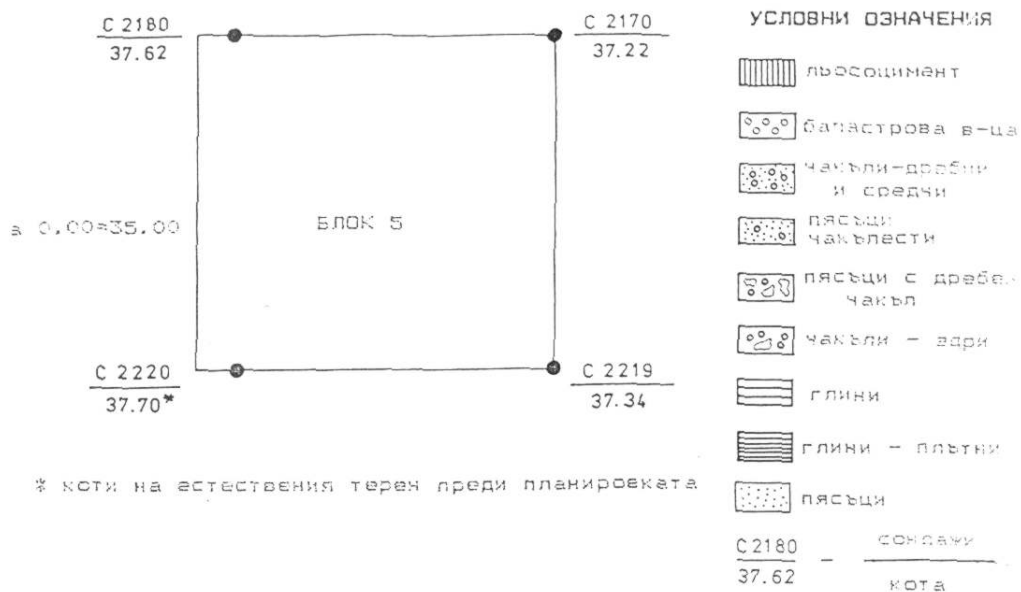
Геотехническият сеизмичен модел на профила "свободна повърхност" е съставен по данните за литоложкия профил от С 1/92. Дълбочините са от кота планиран терен при С1/92 (34.70). Скоростите под 245 m са определени по аналитични зависимости за $V_s=f(H)$.

Обемната плътност и литоложкото описание на дълбочина под 254 m са по данни от МСД 1/78, направен до 505 m. Резултатите от изследванията са представени на фигури 1.12., 2.12. и 3.12.



Фиг. 12.1 Сеизмичен модел по данни от сондажите на площадката на блок 5, АЕЦ "Козлодуй".

РАЗПОЛОЖЕНИЕ НА СОНДАЖИТЕ (с) ПОД БЛОК 5



h — дълбочина от котата на фундаране (28.00)

Фиг. 12.2. Разположение на сондажите и техните литоложки колонки под площадката на блок 5 на АЕЦ “Козлодуй”.



УСЛОВНИ ОЗНАЧЕНИЯ

- 1 – лъосоцимент
- 2 – багастрова възглавница
- 3 – пясъци чакълести и чакъл
- 4 – пясъци с дребен чакъл
- 5 – глинни плътни
- 6 – пясъчни прослойки
- * геоложка колонка под кота 28.00

Фиг. 12.3. Най-горната част на сеизмичния модел (по данни от сондаж С 2220), блок 5 на АЕЦ “Козлодуй”.

Пример за проведени геофизични проучвания на площадката на завода на фирмата “Шише-Джам” край гр.Търговище

Изследванията са извършени на терена на бъдещата строителна площадка по два взаимно перпендикулярни профила. Първият от тях СП 1 е успореден на рекичката, преминаваща през площта. Вторият СП 2 пресича реката, като тя попада в средната му част, както и северния край на СП 1. По двата профила са направени по две разстановки (стоянки) на сеизмоприемници от по 35 m, или дължината на всеки от профилите е 70 m.

Регистрацията на сеизмичните вълни е извършена с 6-канална аналогова

сеизмична апаратура ОУО - (фиг.12.4). Възбуждането на сеизмичните вълни е чрез специално устройство от типа “падаща тежест” с вграден тригер и свързано със сеизмичната апаратура. При удар на земната повърхност тригерът автоматично включва сеизмичната апаратура и 6-те канала записват сеизмичните сигнали от 6-те сеизмоприемника, разположени по профила. На дисплея на апаратурата се появява записа на сигналите на 6-те канала. Режимът на работа е с натрупване. След получаване на четими записи по всички канали, картината от дисплея се отпечатва на термохартия. Дължината на отпечатания запис е по преценка на оператора в зависимост от естеството на изследване. В случая записите достигаха до дължина от 100-120 ms. Всеки канал е свързан с един сеизмоприемник с вертикална чувствителност и 60 kHz собствена честота.



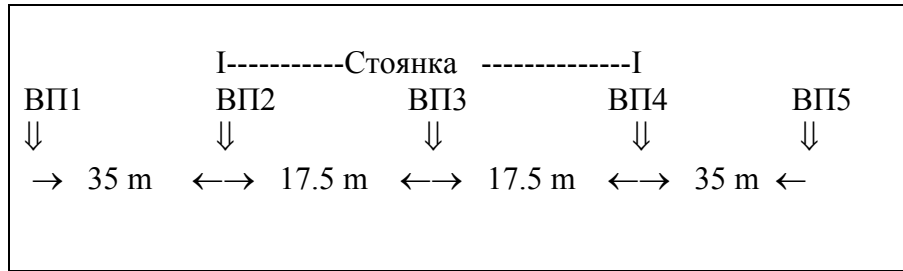
Фиг. 12.4. Сеизмичната апаратура ОУО – 6 канална, в работно състояние.

Сеизмопрофилиране (корелационен метод на пречупените вълни)

Сеизмичното профилиране по КМПВ е проведено с по пет пункта на възбуждане за всяка стоянка, чрез удари по земната повърхност. Регистрацията се извършва при натрупване на сигнала от 3/5 или повече опитно подбран брой удари за всеки пункт (фиг. 12.5). Получените насрещни ходографи, както по надлъжните, така и по напречните вълни (добре се разпознават от опитен изследовател) позволяват изучаването на зоната с необходимата точност и достатъчен дълбочинен обхват.

Полевите записи са обработвани ръчно поради аналоговия тип на записа. Определя се времето на първото встъпление на сеизмичната вълна във всеки канал (надлъжната вълна V_p) и като по-късно встъпление с характерна, по-голяма амплитуда

на записа, обикновено разпознавано като напречна вълна Vs.



Фиг. 12.5. Принципна схема на разположение на пунктовете за възбуждане на сеизмични вълни при една разстановка (стоянка), използвана при изследванията.

Целта на изследването е регистриране на пречупена вълна от първата пречупваща сеизмична граница под земната повърхност, отговаряща на горнището на изветрелите мергели под повърхностния слой.

Метод на интерпретация на резултатите от КМПВ

Интерпретацията на челните пречупени вълни се свежда до определяне на дълбочината на залягане на пречупващата граница H , граничната скорост на пречупващия слой v_2 и скоростта на покриващите седименти v_1 .

Скоростта на покриващия слой може да се определи само в точките на възбуждане на сеизмични импулси ВП3, ВП4 и ВП5 по схемата на фиг. 12.5. По ходографа на пряката вълна от точката на възбуждане до сеизмоприемника, от който се регистрира първото встъпване на челната пречупена вълна (разстояние x_1) се отчита времето t_1 и тогава:

$$v_1 = \frac{x_1}{t_1}$$

Практиката на сеизмопроучването показва, че скоростта на вълните в покриващия слой по този начин се определя с точност до 20%.

При наличие на два насрещни ходографа на пречупена вълна и при положение, че v_1 и v_2 могат да се считат постоянни в пределите на интервала на възбуждане на сеизмични вълни, то v_2 (граничната скорост на пречупващия слой) може да се определи по метода на "разликовия ходограф". Уравнението на разликовия ходограф е:

$$\theta(x) = t_1(x) - t_2(x) + T$$

където $t_1(x)$ и $t_2(x)$ са времената на пристигане на челната пречупена вълна в точка x по първия и по втория (насрещен) ходограф, а T е времето във взаимните точки, което е еднакво за двата ходографа (принцип на взаимността - времето за което вълната пристига от ВП3 до ВП4 е равно на времето за нейното пристигане от ВП4 до ВП3). Граничната скорост се определя по наклона на разликовия ходограф, като за ъгли на наклона на горнището на пречупващия пласт по малки от $10-15^0$ (каквото е случая на изследвания обект) използваната формула е:

$$v_2 \approx 2 \frac{\Delta x}{\Delta \theta}$$

Най-прост и универсален начин за построяване на пречупващата граница е

“метод t_0 ”. Методът се използва когато пречупващата граница е плоска или криволинейна (с радиус на кривината по-голям от дълбочината на залягане на пречупващата граница), а граничната скорост по профила не се променя рязко. За всяка точка S , където има два насрещни ходографа, може да се намери функцията $t_0 = t_1 + t_2 - T$, която е равна на:

$$t_0 = \frac{2H \cos i}{v_1}$$

т.е. времето в пункта на възбуждане, ако той се разполага в тази точка.

$$\sin i = \frac{v_1}{v_2}$$

След определянето на t_0 за всеки сеизмоприемник по профила, при положение че от него е регистрирано встъпление на челна пречупена вълна и при двата насрещни ходографа, дълбочината до пречупващата граница под него се определя по формулата:

$$H = \frac{t_0}{2 \sqrt{\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2}}}$$

Избраната система за възбуждане и регистриране на сеизмичните вълни напълно покрива изискванията на метода за интерпретация, като крайните пунктове на възбуждане ВП1 и ВП5 осигуряват насрещни покриващи ходографи за цялата разстановка, а средния ВП3 помага за по-точното определяне на параметрите на геоложкия разрез при несигурни регистрации от другите пунктове на възбуждане.

Резултати от изследването

Характерното и за двата профила е регистрирането на почти една и съща гранична скорост на V_p вълната по пречупващата граница ($V_p = 1930 \div 2059$ m/s), докато V_s вълната по същата граница варира от 897 до 1167 m/s. Тези скоростни характеристики са типични за мергели и мергелни, добре уплътнени глини. Напречната вълна е свързана със структурата на скалата и е прието скални разновидности с V_s над 750 m/s да се считат за благоприятни за фундиране. Следователно, регистрираните скорости на напречната вълна по двата профила дават основание за такава препоръка.

Доста променлива е скоростната характеристика на покриващия слой. Скоростта на надлъжните вълни V_p варира от 505 до 1138 m/s. Самият слой вероятно има неустойчиви по площта физико-механични свойства поради наличието на алувиални глинесто пясъчливи седименти в близост и под реката, както и поради човешка дейност, следи от която личат на повърхността в близост до профилите (отпадъци, бетонни блокове и др.). Неустойчиво и трудно се отделя напречната V_s вълна в тези седименти. Нейната скорост варира от 355 до 555 m/s. Дълбочините до първата сеизмична пречупваща граница варират от 2.10 m до 3.83 m по профил СП1 и от 3.06 m до 6.82 m по профил СП2.