

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛН В УПРУГИХ
СРЕДАХ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО
ВКЛЮЧЕНИЯ

Данная статья посвящена разработке и реализации программы численного решения задач о распространении упругих волн в среде с цилиндрическим включением за границей включения, то есть при $r \neq r_0$. Для достижения поставленной цели была разработана специальная программа на языке Турбо Паскаль 7.0. На основе этой программы решены конкретные задачи о распространении волн в упругой среде с цилиндрическим включением для различных типов грунтов и горных пород: скальные породы, полускальные породы, крупнообломочные грунты, глинистые грунты, насыпные грунты,

почвенные грунты.

Используя справочные сведения о встречающихся значениях скоростей распространения упругих волн для вышеперечисленных типов грунтов и горных пород численно решены конкретные задачи при различных значениях r_0 и r . На основе полученных данных построены графики зависимости скоростей перемещения от времени и даны объяснения графически наблюдаемым явлением.

Для численного решения задачи рассмотренной в работах [1,2] для случая общего вида, то есть при $r \neq r_0$, за границей цилиндрического включения составлена и

реализована программа на языке Турбо Паскаль 7.0.

При составлении алгоритма для случая $r \neq r_0$, были использованы следующие формулы [1, 2].

$$U_r(t) = \frac{2r_0V_0\sqrt{ab}}{\pi} \left(\frac{1}{ab}(A(a,b)) - \right. \\ \left. - \frac{a+b}{r_0\mu} \int_{\frac{r-r_0}{a}}^t A_1(a,b)\mu d\tau \right) + \\ + \frac{1}{br\mu} \int_{\frac{r-r_0}{a}}^t A_2(a,b)\mu d\tau + \\ + \frac{2}{ar_0\mu} \int_{\frac{r-r_0}{a}}^t A_3(a,b)\mu d\tau + \frac{2}{r_0r} \times$$

$$\times (A_4(a,b) - \frac{a-b}{r_0\mu} \int_{\frac{r-r_0}{a}}^t A_4(a,b)\mu d\tau) - \\ - \frac{1}{ar\mu} \int_{\frac{r-r_0}{b}}^t A_2(b,a)\mu d\tau - \frac{2}{r_0r} (A_4(b,a) - \\ - \frac{a+b}{r_0\mu} \int_{\frac{r-r_0}{b}}^t A_4(b,a)\mu d\tau) \quad (1)$$

$$\mu(x) = e^{\frac{a+b}{r_0}(x-t)} \quad (2)$$

$$A_1(a,b) = \frac{2H(t - \frac{r-r_0}{a})F(k(a,b))}{m(a,b)} \quad (3)$$

$$A_2(a,b) = \frac{2H(t - \frac{r-r_0}{a})(2\Pi(n(a,b)),k(a,b)) - F(k(a,b)))}{m(a,b)} \quad (4)$$

$$A_3(a,b) = \frac{2Ht - \frac{r-r_0}{a} \left(\left(\frac{bt}{r_0} + \frac{rb}{r_0a} + \frac{b}{a} + 1 \right) F(k(a,b)) \right) - 2 \frac{rb}{r_0a} \Pi(n(a,b),k(a,b)))}{m(a,b)} \quad (5)$$

$$A_4(a,b) = \frac{ab}{rr_0} \int_{\frac{r-r_0}{a}}^t \sqrt{\left(t - \tau + \frac{r_0}{b} \right)^2 - \left(\frac{r_0}{b} \right)^2 \left(\tau + \frac{r_0}{a} \right)^2 - \left(\frac{r}{a} \right)^2} d\tau \quad (6)$$

$$k(a,b) = \sqrt{\left(t - \frac{r-r_0}{a} \right) \left(t + \frac{2r_0}{b} + \frac{r+r_0}{a} \right)} \quad (7)$$

$$m(a,b) = \sqrt{\left(t + \frac{2r_0}{b} - \frac{r-r_0}{a} \right) \left(t + \frac{r+r_0}{a} \right)} \quad (8)$$

$$n(a,b) = \frac{t - \frac{r-r_0}{a}}{t + \frac{r+r_0}{a}} \quad (9)$$

На основе вышеперечисленных формул (1-9) составлена и реализована программа ABC на языке Турбо Паскаль 7.0. Ввиду громоздкости она в данной работе не приводится. На основе этой программы

решены задачи о распространении волн перемещений в различных упругих средах и проведены численные расчеты. Ниже приводятся некоторые результаты расчетов.

В таблице 1 приведены справочные сведения о встречающихся значениях плотности (объемного веса), скорости распространения упругих волн и сейсмической жесткости для различных типов грунтов и горных пород. В ниже перечисленных расчетах использованы значения скоростей распространения упругих волн для указанных типов грунтов и горных пород из таблицы 1.

1. Используя программы численного решения задачи на основе о распространении волн в упругих средах с цилиндрическим включением составленной формулы (1-9) проведены расчеты при следующих значениях величин:

$$a=2000 \text{ м/сек; } b=1400 \text{ м/сек; } (10)$$

$$r_0 = 10 \text{ м; } r=100 \text{ м; } 1000 \text{ м; } 10000 \text{ м.}$$

В рассматриваемой среде с включением движется нестационарная упругая волна, которая взаимодействует с включением и порождает отраженные волны.

Сейсмические волны учитывая их быстрое затухание по глубине могут рассматриваться как двухмерные. Получить аналитическое и численное решение задачи с параметрами мгновенно нарастающими на границе или в виде толчков с последующим затуханием вызывает большой теоретический и практический интерес.

При численных расчетах время меняется в интервале $0 \leq t \leq 10 \text{ сек}$, шагом расчета принят $\Delta t = 0,01 \text{ секунда}$.

Таблица 1

**Справочные сведения о встречающихся значениях плотности (объемного веса),
скорости распространения упругих волн и сейсмической жесткости для
различных типов грунтов и горных пород**

Тип и название породы (грунта)	Плотность ρ (объемный вес) $\text{г}/\text{см}^3$ (от - до)	Скорости упругих волн V в $\text{км}/\text{сек}$				Сейсмические жесткости		
		Продольные V_p		Поперечные V_s		$V_p \rho$	$V_s \rho$	
		(от-до)	Средн.	(от-до)	Средн.	(от-до)	(от-до)	
I. Скальные породы								
Гранит глубинных зон	2,8		5,6		3,2	18,2	9,4	
Граниты, базальты, габбро и другие скальные породы:								
а) невыветрелые, естественной влажности	2,5 – 3,8	2,0–7,0	3 – 5,5	1,0 – 4,8	2,8	5-28,6	4,5-15,2	
б) выветрелые, трещиноватые, неводоносные	1,6–2,35	1,0–3,3	1,2 – 3,0	0,2 – 0,8	0,5	1,6-7,75	3,2-1,4	
в) то же, водоносные	1,65–2,50	1,6–3,3	2,2 – 3,2	--	--	2,6–8,25	3,3 – 1,5	
Известняки плотные	2,35 – 3,0	2,4–7,0	2,8 – 3,2	1,1 – 4	1,4 – 1,6	6 – 21	2,6–12,0	
Доломиты плотные	2,4 – 3,05	3,5–7,0	4 – 8,5	1,7 – 4	1,8 – 2	8,3 - 21	4,1–12,2	
Песчаники плотные, аргиллиты	1,5 – 2,95	1,4–4,5	2,5 – 3,2	1,1 – 2	1,4 – 1,8	2,4 - 13	1,6 – 6	
II. Полускальные породы								
Гипсы (естественной влажности)	2,1 – 2,4	2,0–5,5	2,5 – 3,2	1 - 3	1,2 – 1,6	4,3 - 13	2,2–7,2	
Маргели (естественной влажности)	1,8 – 2,4	1,1–6,0	2,6 – 3,5	0,4 – 3,4	0,5 – 0,6	2 - 16	0,7–9,5	
Глинистые сланцы	2,6 – 2,7	1,6–4,7	2,4 – 4,0	0,8 – 2,8	0,7 - 2	4,2 - 12	1,6–7,5	
III. Крупнообломочные грунты								
Валунно-галечниковые и гравийно-щебнистые отложения с песчаным заполнителем:								
а) неводоносные (естественной влажности)	1,8 – 2,2	0,8 – 1,0	-	0,3 – 0,6	-	1,4 – 2,2	0,5 – 1,3	
б) водоносные	1,95 –	2,2 – 3,3	-	-	-	4,3 – 7,8	0,6 – 1,4	

Валунно-галечниковые и гравийно-щебнистые отложения с глинистым заполнением	2,35							
а) неводонасыщенные (естественной влажности)								
б) водоносыщенные	1,8 – 2,2 2,0 – 2,35	0,8 – 1,3 2,3 – 3,4	-	0,3 – 0,8 -	-	1,4 – 2,0 4,6 – 8,0	0,5 – 1,8 0,6 – 1,9	
Песчано-глинистые отложения с гравием, галькой и валунами или со щебнем и обломками скал (пролювий):								
а) неводоносные	1,8 – 2,3	0,12-0,75	-	0,038 -0,5	-	0,23-1,7	0,1 – 1,1	
б) водоносные	2,0 – 2,4	2,2 – 3,3	-	-	-	5,4 – 7,9	0,1 – 1,1	
Галечники промытые:								
а) неводоносные	1,7 – 2,0	1,8 – 3,3	-	0,3 – 0,8	-	0,85-2,2	0,6 – 1,6	
б) водоносные	1,9 – 2,3	-	-	-	-	3,8 – 7,6	0,6 – 1,8	
IV. Песчаные не связанные грунты								
Пески различной зернистности чистые:								
а) неводоносные	1,4 – 1,8	0,2 – 1,0	0,3 – 0,7	0,1 – 0,7	0,2 – 0,5	0,3 – 1,6	0,2 – 1,1	
б) водоносные	1,85–2,15	1,5 – 1,8	-	-	-	2,8 – 3,7	0,2 – 1,6	
в) сыпучие	1,3 – 1,4	0,08–0,4	0,1 – 0,3	0,04 – 0,8	-	0,06–0,9	0,1 – 0,5	
Пески с примесью глинистого материала (до 8 %):								
а) неводоносные	1,4 – 1,8	1,5–1,75	-	0,1 – 0,5	-	0,4 - 13	0,1 - 1	
б) водоносные	1,8 – 2,1	1,5–1,75	-	-	-	2,7 – 3,7	0,2 – 1,2	
V. Глинистые грунты								
Супеси:								
а) неводоносные	1,45 – 1,8	0,3 – 0,7	0,4 – 0,8	0,1 – 0,35	-	0,44–1,3	0,1 – 0,7	
б) водоносные	1,8 – 2,0	1,7 – 1,8	1,8	-	-	2,8 – 3,8	0,2 – 0,7	
Суглинки:								
а) неводоносные	1,65–2,05	0,3 – 0,8	0,5 – 0,8	0,050,45	-	0,5 – 1,8	0,1 – 0,9	
б) водоносные	1,7 – 2,1	1,6 – 1,8	-	-	-	2,8 – 4,0	0,1 – 0,9	
Глины:								
а) неводоносыщенные	1,3 – 2,0	0,85–1,4	1,1 – 1,3	0,2 – 0,7	0,3 – 0,5	1,4 – 2,8	0,3 – 1,4	
б) водоносные	1,80-3,25	1,75–2,2	-	-	-	3,1 – 7,1	0,4 – 2,8	
Суглинки лессовидные и лессы:								
а) неводоносные	1,18–1,75	0,3–1,0	0,5 – 0,7	0,1 – 0,7	0,2 – 0,4	0,5–2,5	0,2– 1,2	
б) водоносыщенные сразу же после замачивания	1,80–2,80	0,15–0,5	-	0,02-0,08	-	0,2–1,3	0,03–0,2	
в) водоносыщенные	1,80–2,80	1,5–1,8	1,6–1,7	0,1–0,7	-	2,4–4,7	0,2 – 1,8	
VI. Насыпные грунты								
а) неводонасыщенные	1,30–1,80	0,03–0,3	0,2 – 0,3	0,01– 0,2	0,1 – 0,2	0,04–0,5	0,01–0,5	
б) водоносыщенные	1,50–1,80	1,5 – 1,7	-	-	-	2,2 – 3,0	0,01–0,5	
VII. Почвенные грунты	1,40–1,85	0,04–0,5	0,08–0,3	0,01 – 0,2	-	0,06–0,9	0,01–0,4	

Для построения кривых, зависимости перемещения от времени при расстоянии $r=100\text{m}$ от центра включения окруженном в скальной породе, типа известняки плотные значения скоростей распространения упругих волн, были взяты из таблицы 1 следующие $a=2400\text{м/сек}$; $b=1100\text{ м/сек}$. Радиусы цилиндра были приняты $r_0 = 10\text{м}$ и $r_0 = 50\text{м}$. Как видно в начальном этапе

распространения волн, несмотря на различие радиусов цилиндра, кривые почти совпадают, а в дальнейшем наблюдается расхождение их и нарастание значений перемещений по времени t .

Проведены численные расчеты для случая, когда цилиндр находится в среде состояний из глинистого грунта типа супеси неводоносного, где скорость прос прос -

от трансформации упругих волн равны $a=700$ м/сек; $b=350$ м/сек; типа супеси водоносного, где скорости распространения волн $a=1800$ м/сек; $b=700$ м/сек; типа глины неводонасыщенного, где скорости распространения волн равны $a=1400$ м/сек; $b=700$ м/сек.

Несмотря на почти одинаковых данных значения перемещений на кривой $u(t)$ от t построенной для глинистого грунта превышает значений на кривой зависимости $u(t)$ построенной для крупнообломочного грунта.

Цилиндрическое включение находится в окружающей среде, состоящей из насыщенного грунта типа не неводонасыщенного, скорости распространения упругих волн в нем имеют значение $a=200$ м/сек; $b=100$ м/сек. Радиус цилиндра $r_0=10$ м и $r_0=50$ м. Расстояние от центра включения является $r=100$ м. При дальнейшем распространении сливаясь на некоторое время, а потом снова расходятся. Наблюдается нарастание значений перемещений по времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Agalarov D.G., Mamedov Sh.A., Imamaliyeva D.N. Nonstationary waves excited by the rigid cylinder in elastic medium. Transactions Issue Mathematics and Mechanics Series of Physical-Technical & Mathematical Sciences The Issue is Dedicated to the 80th Anniversary of President of Azerbaijan Republic H.A. Aliyev, XXIII, № 1, Baku-2003, p. 181-185.
2. Mamedov Sh.A., Imamaliyeva D.N., Namazov Y.B. To the problem of wave propagation in elastik medium. Материалы 3-й Международной конференции по проблеме «Сейсмических рисков больших городов», г. Баку, 10-13 октября 2005 г, стр. 226-233.

E.K.Kerimov, Sh.A.Mammadov

Research of the waves in elastic environments during the motion of cylindrical switching on

SUMMARY

I research assimptotical conduct of decision, it was worked out and made up programme ABCDE in Turbo Pascal's 7,0 language. The formed decision consists of 2 parts, each of them at explosive front of waves are similar to certain kind of waves with the characteristic velocity (vafe) but with the growing in the both parts of decision there are properties of both kinds of waves. If we take into consideration the speed importance of spreading longitudinal and diametrical waves in different kinds, there was learned the speed modification of environment parts according to time at different distances from switching on.

Kərimov E.Q., Məmmədov Ş.Ə.

Silindrik daxiletmənin hərəkəti nəticəsində elastiki mühitdə əmələ gələn dalğaların hesabi metodlarla tədqiqi

XÜLASƏ

İşdə silindrik daxiletmənin hərəkəti nəticəsində elastiki mühitdə əmələ gələn dalğaların yayılması hesabi metodlrla tədqiq edilmişdir. Hesabatın aparılmasında Turbo Pascal's 7,0 alqoritmik dilində yazılmış programdan istifadə edilmişdir. Eninə və uzununa dalğaların müxtəlif mühitlərdə yayılma sürtətinin qiymətlərindən asılı olaraq hesabatlar aparılmışdır və alınmış hesabi nəticələrin analizi verilmişdir.

Məqaləyə AzMİU-nun “Bina və qurğuların istismarı və rekonstruksiyası” kafedrasının müdürü İ.Q. Əliyev rəy vermişdir.