

мальный изгибающий момент,  $W_x$  — момент сопротивления при изгибе, значение которого  $W_x = \frac{bh^2}{6}$  [6], и сравнить материалоемкость двух рассматриваемых случаев, то получаем, что для рамы без предварительного напряжения с размерами сечения  $b = 0.0497\text{ м}$ ,  $a = 0.0994\text{ м}$  объем материала составляет  $V = 0.168\text{ м}^3$ . В случае рекомендуемого предварительного напряжения размеры сечения становятся  $b = 0.0447\text{ м}$ ,  $a = 0.0894\text{ м}$ , а материалоемкость составляет  $V = 0.136\text{ м}^3$ .

**Выводы.** Предложенный алгоритм нахождения параметров предварительного напряжения конструкции позволяет снизить материалоемкость конструкции. Величина преднапряжения возможна в виде незначительного изменения геометрических параметров конструкции или смещением опор, что с точки зрения технологии изготовления не вызывает осложнений. Исследования показали, что экономический эффект от использования преднапряженной рамы составляет по материалу порядка 10 %.

### Список литературы

1. Дарков А.В., Шапашников Н.Н. Строительная механика. — М.: Высш. шк., 1986. — 607 с.
2. Саргсян А.Е., Демченко А.Т., Дворянчиков Н.В., Джингвелашвили Г.А. Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов. — М.: Высш. шк., 2000. — 416 с.
3. Бейсебаев А.К. Численное моделирование задач механики элементов конструкций. — Караганда, 2002. — 143 с.
4. Строительная механика. Руководство к практическим занятиям / Под ред. Ю.И.Бутенко — Киев: Вища шк., 1984. — 328 с.
5. Херхагер М., Партолив Х. Mathcad 2000: полное руководство. — Киев: ВНУ, 2000. — 416 с.
6. Степин П.А. Сопротивление материалов. — М.: Высш. шк., 1968. — 424 с.
7. Мудров А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран, Паскаль. Томск: РАСКО, 1991. — 271 с.
8. Турчак Л.И. Основы численных методов: учебное пособие для студентов вузов. — М.: Высш. шк., 1987. — 430 с.

ӘОЖ 539.3

А.Ж.Нұрғазиева, Р.А.Қайыров, С.Б.Ахажанов

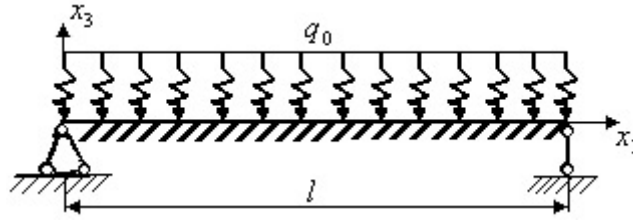
Е.А.Бекетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті

### СЕРПІМДІ НЕГІЗДЕГІ АРҚАЛЫҚТЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ИЛҮІ

*Построена теория расчета под влиянием динамической нагрузки балки на упругом основании. Получено разрешающее уравнение изгиба балки. Учет упругого основания произведен с помощью параметра. Рассмотрены примеры расчета балок на упругом основании. Результаты приведены в табличной форме.*

*The theory of calculation under influence of dynamic loading of a beam on the elastic basis is constructed. The allowing equation of a bend of a beam is received. The account of the elastic basis is made with the help of parameter. Examples of calculation of beams on the elastic basis are considered. Results are resulted in the tabulated form.*

Қарқындылығы  $q(x_1) = q_0$  бірқалыпты жайылған динамикалық жүктеме әсер еткендегі топса арқылы бекітілген арқалықты (ұзындығы —  $l$ ; қалыңдығы —  $h$ ; материалының серпімділік модулі —  $E$ ) координаттық жүйеде  $\left(-\frac{l}{2} \leq x_1 \leq \frac{l}{2}, -\frac{h}{2} \leq x_3 \leq \frac{h}{2}\right)$  қарастырайық. Ол (қалыңдығы —  $H = 2 \cdot l$ ; материалының серпімділік модулі —  $E_0$ ) серпімді негіздің үстінде орналасқан (сур. қара).



Сур.

Есептеу теориясын алу үшін [1] арқалықтың майысу функциясын  $W(x_1)$  және көлденең жүктемені мына түрде жазамыз:

$$W(x_1) = W_0 \cdot X(x), W_0 = \frac{q_0 \ell^4}{EJ}, W_{\max} = \alpha_0 \cdot W_0, x = \frac{x_1}{\ell}; \quad (1)$$

$$q(x_1) = q_0 \cdot Pu(x), J = b_0 h^3 / 12, \alpha_0 = X(x_0),$$

мұндағы  $X(x)$  — майысудың өлшемсіз нормаланған функциясы;  $W_0$  — майысудың көбейткіші;  $\alpha_0$  — майысудың максимал параметрі;  $x_0$  — максималды майысу пайда болатын координата;  $x$  — өлшемсіз бойлық координата;  $q_0$  — көлденең жүктеменің максималды қарқындылығы;  $Pu(x)$  — сыртқы жүктеменің өзгеру заңдылығы;  $EJ$  — арқалықтың иілу катандығы ( $E$  — материалдың серпінділік модулі;  $J$  — көлденең қимадағы инерцияның осьтік моменті).

1. Арқалыққа бірқалыпты жайылған жүктеме әсер еткенде  $Pu(x) = 1$  және арқалық топсалы-тіректі болған жағдайда өлшемсіз майысу функциясы төмендегідей болады:

$$X(x) = \frac{1}{24}(x^4 - 2x^3 + x), X'(x) = \frac{1}{24}(4x^3 - 6x^2 + 1); \quad (2)$$

$$X''(x) = \frac{1}{24}(12x^2 - 12x), X'''(x) = (x - \frac{1}{2}), X^{IV}(x) = 1.$$

2. Негізгі параметрлер

$$m_0 = \frac{1}{32\pi^2} \frac{E_0 l}{E h}, n_0 = \frac{1}{2\pi^4} \frac{E_0}{E} \left(\frac{l}{h}\right)^3, C = \frac{1}{21} \frac{m_0}{1 + m_0};$$

$$g = 1 + 12n_0 + 6C - \gamma_0 = \frac{(1 + 4m_0)}{(1 + m_0)} + 12n_0 - \gamma_0, \quad (3)$$

мұнда  $g$  — арқалықтың көлденең қимасының осьтік инерция моментінің параметрі;  $\gamma_0$  — динамикалық жүктеме параметрі.

3. Кернеудің таралу заңдылығы және ішкі күштер тең болады

$$\phi(z) = c + z, \psi(z) = (1 - 4z^2) + 4c(1 - 2z);$$

$$\delta(z) = \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{2}z - 2z^3\right) + \frac{3}{2}c(3 + 4z - 4z^2) + 1; \quad (4)$$

$$M(x) = -\frac{1}{2g}(x^2 - x), Q(x) = -\frac{1}{g}\left(x - \frac{1}{2}\right).$$

4. Кернеулер және жылжулар компоненттері мына түрде болады:

$$\sigma_1 = -\frac{q_0 l^2}{b_0 \cdot h^2} \cdot \frac{6}{g} \phi(z) \left(\frac{l}{h}\right)^2 (x^2 - x); \tau_{13} = -\frac{q_0 l}{b_0 \cdot h} \cdot \frac{3}{2g} \psi(z) \left(x - \frac{1}{2}\right);$$

$$\sigma_z = q_0 \frac{\delta(z)}{g}; u_3(x_1, x_2) = \frac{q_0 l^4}{EJ_0} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{1}{24} (x^4 - 2x^3 + x); \quad (5)$$

$$u_1(x_1, x_3) = -\frac{h q_0 l^4}{l EJ_0} \cdot \frac{1}{g} \cdot \phi(z) \frac{1}{24} (4x^3 - 6x^2 + 1).$$

5. Серпінді негіздің реактивті қысымы былайша анықталады:

$$x = 0 \text{ және } x = 1: \sigma_3^0 = \frac{g_0}{2g \cdot \alpha_1}, \alpha_1 = 0, 1;$$

$$0 < x < 1: \sigma_3^0 = \frac{q_0}{4g} \cdot \frac{E_0}{E} \left( \frac{l}{h} \right)^3 (x^4 - 2x^3 + x). \quad (6)$$

Динамикалық жүктемені және серпімді негізді ескерген жағдайдағы топсалы-тіректі аркалықтың иілуін келесі кестелерде көрсетейік:

1 - кесте

$\gamma_0=0$	$E_0=0$						$E_0=0,001E$					
	$x=0$			$x=0,5$			$x=0$			$x=0,5$		
$z$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$
-0,5	0	0	0,021	-75	0	0	0	0,00008	0,02	-70,746	0	0
-0,25	0	0,563	0,01	-37,5	0	0	0	0,531	0,0098	-35,372	0	0
0	0	0,75	0	0	0	0	0	0,708	-0,0000007	0,0022	0	0
0,25	0	0,563	-0,01	37,5	0	0	0	0,531	-0,0098	35,376	0	0
0,5	0	0	-0,021	75	0	0	0	0	-0,02	70,751	0	0
$\gamma_0=0$	$E_0=0,01E$						$E_0=0,1E$					
	$x=0$			$x=0,5$			$x=0$			$x=0,5$		
-0,5	0	0,0005	0,013	-46,83	0	0	0	0,00133	0,0029	-10,667	0	0
-0,25	0	0,352	0,0065	-23,40	0	0	0	0,081	0,0014	-5,317	0	0
0	0	0,469	-0,000004	0,015	0	0	0	0,108	-0,000009	0,033	0	0
0,25	0	0,352	-0,0065	23,438	0	0	0	0,081	-0,0014	5,383	0	0
0,5	0	0	-0,013	46,862	0	0	0	0	-0,0029	10,733	0	0

1-кестеде динамикалық иілу параметрі  $\gamma_0 = 0$ , аркалықтың серпінді негізді ескерген жағдайдағы иілуі қарастырылған. Серпімді негізді ескерген жағдайда бірінші  $E_0 = 0$ , яғни серпімді негіз болмаған кезде, содан кейін серпімді негіз бен аркалықтың серпімділік модульдарының қатынастарын  $E_0 = 0,001 \cdot E$ ;  $E_0 = 0,01 \cdot E$  және  $E_0 = 0,1 \cdot E$ , аркалықтың тангенциалдық нормал кернеуі  $\sigma_1(x, z)$ , жанамалық кернеуі  $\tau_{13}(x, z)$  және тангенциал жылжуының  $u_1(x, z)$  мәндері келтірілген.

Кестеде бұл функциялардың  $x=0$ ;  $x=0,5$  нүктелеріндегі мәндері қарастырылды, себебі осы нүктелерде функциялардың максимал мәндері анықталып отыр.

Жанамалық кернеудің  $\tau_{13}(x, z)$  ең үлкен мәні  $x=0$ ;  $z=0$  нүктесінде болады, ол мән  $E_0 = 0$  болғанда 0,75 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда ол 0,108 ге дейін шамамен 7 есеге кішірейіп отыр.

Тангенциалдық нормал кернеудің  $\sigma_1(x, z)$  максимал мәні  $x=0,5$ ;  $z=-0,5$  нүктесінде пайда болады, ол  $E_0 = 0$  болғанда 75 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда ол 10,733-ке дейін 7 есеге кішірейеді.

Тангенциалдық жылжудың  $u_1(x, z)$  ең үлкен мәні  $x=0$ ;  $z=-0,5$  нүктесінде, ол  $E_0 = 0$  болғанда 0,021 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда ол 0,0029-ға дейін 7 еседей кішірейеді.

1-кестеде әзірше динамикалық жүктеменің әсері нөлге тең, ендеше жоғарыдағы функциялардың 7 есеге дейін кемуін серпімді негіздің әсерімен түсіндіруге болады.

2 - кесте

$\gamma_0=0,2$	$E_0=0$						$E_0=0,001E$					
	$x=0$			$x=0,5$			$x=0$			$x=0,5$		
$z$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$
-0,5	0	0	0,026	-93,7	0	0	0	0,0001	0,024	-87,19	0	0
-0,25	0	0,703	0,013	-46,8	0	0	0	0,654	0,012	-43,59	0	0
0	0	0,938	0	0	0	0	0	0,872	-0,0000007	0,0027	0	0
0,25	0	0,703	-0,013	46,8	0	0	0	0,654	-0,012	43,60	0	0
0,5	0	0	-0,026	93,7	0	0	0	0	-0,024	87,20	0	0
$\gamma_0=0,2$	$E_0=0,01E$						$E_0=0,1E$					
	$x=0$			$x=0,5$			$x=0$			$x=0,5$		
-0,5	0	0,0006	0,015	-53,51	0	0	0	0,0013	0,003	-10,98	0	0
-0,25	0	0,402	0,0074	-26,75	0	0	0	0,084	0,0015	-5,473	0	0
0	0	0,536	-0,000004	0,017	0	0	0	0,111	-0,000009	0,034	0	0
0,25	0	0,402	-0,0074	26,78	0	0	0	0,083	-0,0015	5,541	0	0
0,5	0	0	-0,015	53,55	0	0	0	0	-0,003	11,049	0	0

Бұл 2-кестенің алдыңғы 1-кестеден айырмашылығы, динамикалық жүктеме параметрі  $\gamma_0 = 0,2$ . Енді динамикалық жүктеменің әсерін байқау үшін мына салыстыруларды жасайық.

Жанамалық кернеудің  $\tau_{13}(x, z)$  ең үлкен мәні  $E_0 = 0$  болғанда 0,938 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда ол мән 0,111-ге дейін 8,4 есеге кемиді. Сонымен, жанамалық кернеу  $\gamma_0 = 0$  да 7 есе кемісе,  $\gamma_0 = 0,2$  болғанда 8,4 есеге кемуін ұлғайтты.

Тангенциалдық нормал кернеудің  $\sigma_1(x, z)$  максимал мәні  $E_0 = 0$  болғанда 93,7 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда 11,049-ға дейін 8,4 есеге кемиді. Кему 7 еседен 8,4 есеге өсті.

Тангенциалдық жылжудың  $u_1(x, z)$  ең үлкен мәні  $E_0 = 0$  болғанда 0,026 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болған ол 0,003-ке дейін 8,6 есеге кемиді. Бірінші кестемен салыстырсақ, кему ұлғаюда, оны динамикалық жүктеме параметрі  $\gamma_0$  өсуімен түсіндіруге болады.

3 - кесте

$\gamma_0=0,4$	$E_0=0$						$E_0=0,001E$					
	$x=0$			$x=0,5$			$x=0$			$x=0,5$		
$z$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$
-0,5	0	0	0,035	-125	0	0	0	0,00014	0,032	-113,61	0	0
-0,25	0	0,938	0,017	-62,5	0	0	0	0,852	0,016	-56,8	0	0,938
0	0	1,25	0	0	0	0	0	1,136	-0,0000009	0,0035	0	1,25
0,25	0	0,938	-0,017	62,5	0	0	0	0,852	-0,016	56,814	0	0,938
0,5	0	0	-0,035	125	0	0	0	0	-0,032	113,62	0	0
$\gamma_0=0,4$	$E_0=0,01E$						$E_0=0,1E$					
	$x=0$			$x=0,5$			$x=0$			$x=0,5$		
-0,5	0	0,0007	0,017	-62,43	0	0	0	0,0014	0,0031	-11,312	0	0,0007
-0,25	0	0,469	0,0086	-31,20	0	0	0	0,086	0,0015	-5,638	0	0,469
0	0	0,625	-0,000005	0,02	0	0	0	0,114	-0,000009	0,035	0	0,625
0,25	0	0,469	-0,0086	31,24	0	0	0	0,085	-0,0015	5,709	0	0,469
0,5	0	0	-0,017	62,47	0	0	0	0	-0,0031	11,383	0	0

Мұнда динамикалық жүктеме параметрі  $\gamma_0 = 0,4$  болды, салыстыра келе, жанамалық кернеудің  $\tau_{13}(x, z)$  ең үлкен мәні  $E_0 = 0$  болғанда 1,25 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда 0,114-ке дейін 10,9 есе кемиді, осының алдында  $\gamma_0 = 0,2$  де кему 8,4 есе болған болатын.

Тангенциалдық нормал кернеудің  $\sigma_1(x, z)$  ең үлкен мәні  $E_0 = 0$  болғанда 125 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда 11,383-ке дейін 10,5 есеге кемиді.  $\gamma_0 = 0,2$  де кему 8,4 есе болған болатын.

Тангенциалдық жылжудың  $u_1(x, z)$  максимал мәні  $E_0 = 0$  де 0,035 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  де ол 0,0031-ге дейін 11,2 есеге кемиді.  $\gamma_0 = 0,2$  де кему 8,2 есе болған болатын.

4 - кесте

$\gamma_0=0,6$	$E_0=0$						$E_0=0,001E$					
	$x=0$			$x=0,5$			$x=0$			$x=0,5$		
$z$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$
-0,5	0	0	0,052	-187,5	0	0	0	0,0002	0,045	-163	0	0
-0,25	0	1,406	0,026	-93,75	0	0	0	1,223	0,023	-81,5	0	1,40
0	0	1,875	0	0	0	0	0	1,63	-0,000001	0,005	0	1,87
0,25	0	1,406	-0,026	93,75	0	0	0	1,223	-0,023	81,51	0	1,40
0,5	0	0	-0,052	187,5	0	0	0	0	-0,045	163	0	0
$\gamma_0=0,6$	$E_0=0,01E$						$E_0=0,1E$					
	$x=0$			$x=0,5$			$x=0$			$x=0,5$		
-0,5	0	0,0009	0,021	-74,9	0	0	0	0,0014	0,0032	0	0,0009	0,02
-0,25	0	0,563	0,01	-37,44	0	0	0	0,089	0,0016	0	0,563	0,01
0	0	0,75	-0,000006	0,023	0	0	0	0,118	-0,00001	0	0,75	
0,25	0	0,562	-0,01	37,48	0	0	0	0,088	-0,0016	0	0,562	-0,01
0,5	0	0	-0,021	74,95	0	0	0	0	-0,0032	0	0	-0,02

4-кестеде динамикалық жүктеме параметрі  $\gamma_0 = 0,6$ , салыстыратын болсақ, жанамалық кернеудің  $\tau_{13}(x, z)$  ең үлкен мәні  $E_0 = 0$  болғанда 1,875 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда 0,118 болып, 15,8 есе кеміді, осының алдында (3-кесте)  $\gamma_0 = 0,4$ -де кему 10,9 есе болған болатын.

Тангенциалдық нормал кернеудің  $\sigma_1(x, z)$  ең үлкен мәні  $E_0 = 0$  болғанда 187,5 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда 11,383-ке дейін 11,73 есеге кемиді.  $\gamma_0 = 0,4$  кему 10,5 есе болған болатын.

Тангенциалдық жылжудың  $u_1(x, z)$  максимал мәні,  $E_0 = 0$  де 0,052 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  де ол 0,0032-ге дейін 16,25 есеге кемиді.  $\gamma_0 = 0,4$ -де кему 11,2 есе болған болатын.

5 - кесте

$\gamma_0=0,8$	$E_0=0$						$E_0=0,001E$					
	$x=0$			$x=0,5$			$x=0$			$x=0,5$		
$z$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$	$\sigma_1$	$\tau_{13}$	$u_1$
-0,5	0	0	0,104	-375	0	0	0	0,0003	0,08	-288,3	0	0
-0,25	0	2,813	0,052	-187,5	0	0	0	2,163	0,04	-144,1	0	0
0	0	3,75	0	0	0	0	0	2,884	-0,000002	0,009	0	0
0,25	0	2,813	-0,052	187,5	0	0	0	2,163	-0,04	144,18	0	0
0,5	0	0	-0,104	375	0	0	0	0	-0,08	288,36	0	0
$\gamma_0=0,8$	$E_0=0,01E$						$E_0=0,1E$					
	$x=0$			$x=0,5$			$x=0$			$x=0,5$		
-0,5	0	0,0011	0,026	-93,61	0	0	0	0,0015	0,0034	-12,04	0	0
-0,25	0	0,703	0,013	-46,79	0	0	0	0,092	0,0016	-6,002	0	0
0	0	0,937	-0,000008	0,029	0	0	0	0,122	-0,001	0,038	0	0
0,25	0	0,703	-0,013	46,849	0	0	0	0,091	-0,0016	6,077	0	0
0,5	0	0	-0,026	93,67	0	0	0	0	-0,00336	12,11	0	0

5-кесте бойынша динамикалық жүктеме параметрі  $\gamma_0 = 0,8$ -ге өзгертілді, осы өзгерістің әсерін байқап көрейік:

Жанамалық кернеудің  $\tau_{13}(x, z)$  ең үлкен мәні  $E_0 = 0$  болғанда 3,75 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда 0,122 болып, 30,7 есе кемиді, осының алдында (4-кесте)  $\gamma_0 = 0,6$ -де кему 15,8 есе болған болатын.

Тангенциалдық нормал кернеудің  $\sigma_1(x, z)$  ең үлкен мәні  $E_0 = 0$  болғанда 375 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда 12,116-ға дейін 30,9 есеге кемиді.  $\gamma_0 = 0,6$ -де кему 11,73 есе болған болатын.

Тангенциалдық жылжудың  $u_1(x, z)$  максимал мәні  $E_0 = 0$  де 0,104 болса,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  де 0,0034-ке дейін 30,5 есеге кемиді.  $\gamma_0 = 0,6$ -де кему 16,25 есе болған болатын.

6 - кесте

$E_0/E$	0			0,001			0,01			0,1		
$z$	$\varphi(z)$	$\psi(z)$	$\delta(z)$	$\varphi(z)$	$\psi(z)$	$\delta(z)$	$\varphi(z)$	$\psi(z)$	$\delta(z)$	$\varphi(z)$	$\psi(z)$	$\delta(z)$
-0,5	-0,5	0	0	-0,5	0,0001	0,06	-0,5	0,0012	0,6	-0,5	0,012	6
-0,25	-0,25	0,75	0,156	-0,3	0,75	0,216	-0,25	0,751	0,757	-0,2	0,759	6,16
0	0	1	0,5	0	1	0,56	0,0001	1,001	1,101	0	1,006	6,507
0,25	0,25	0,75	0,844	0,25	0,75	0,904	0,25	0,75	1,445	0,3	0,753	6,853
0,5	0,5	0	1	0,5	0	1,06	0,5	0	1,601	0,5	0	7,009

6-кестеде таралу функцияларына серпімді негіздің әсер етуін көруге болады. Салыстырып қарайық. Нормал кернеудің таралу функциясының  $\varphi(z)$  ең үлкен мәні 0,25-тен 0,252-ге дейін ғана артты. Жанамалық кернеудің таралу функциясының  $\psi(z)$  ең үлкен мәні 1-ден 1,006-ға дейін ғана артты және  $z = -0,5$  нүктесінде 0-ден 0,012-ге дейін өзгерді. Бұл екі функциядан аса елеулі өзгерістер байқалмайды. Ал нормал кернеудің  $\delta(z)$  таралу функциясының ең үлкен мәні 0,5-тен 6,507-ге дейін 13 есеге өсті және  $z = -0,5$  нүктесінде 0-ден 6-ға дейін өсті, сонымен қатар  $z = 0,5$  нүктесінде 0-ден 7,009-ға дейін өзгерді. Ендеше,  $\delta(z)$  таралу функциясына серпімді негіз өте жақсы әсер ететіндігін көре аламыз.

Жоғарыдағы алты кестеге қорытынды жасайтын болсақ, жанамалық кернеудің  $\tau_{13}(x, z)$  ең үлкен мәні  $\gamma_0 = 0$ ,  $E_0 = 0$  болғанда 0,75,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  0,108;  $\gamma_0 = 0,8$ ,  $E_0 = 0$  болғанда 3,75,  $E_0 = 0,1 \cdot E$  0,122.

Серпімді негіз болмаған кездегі динамикалық жүктеме әсерінен жанамалық кернеудің артуы 5 есе, ал серпімді негіз  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғандағы арту 1,12 есе ғана болып отыр, ендеше серпімді негіздің әсері динамикалық жүктеме әсерінен болатын жанамалық кернеудің 5 есе артуын 1,12 есеге дейін азайтып отыр.

Осылайша, тангенциалдық нормал кернеу  $\sigma_1(x, z)$  үшін және тангенциалдық жылжу  $u_1(x, z)$  үшін де серпімді негіз динамикалық жүктеме әсерінен болатын өзгерісті баяулататындығын дәлелдеуге болады.

7-кесте

$\gamma_0$	$E_0 / E$											
0	0			0,001			0,01			0,1		
$x$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$
0	0	0,5	5	0	0,472	4,71	0	0,313	3,12	0	0,072	0,72
0,25	0,094	0,25	0	0,088	0,236	0,10	0,059	0,156	0,69	0,013	0,036	1,58
0,5	0,125	0	0	0,118	0	0,14	0,078	0	0,97	0,018	0	2,22
0,75	0,094	-0,25	0	0,088	-0,236	0,10	0,059	-0,156	0,69	0,013	-0,036	1,58
1	0	-0,5	5	0	-0,472	4,71	0	-0,313	3,12	0	-0,072	0,72
$\gamma_0$	$E_0 / E$											
0,2	0			0,001			0,01			0,1		
$x$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$
0	0	0,625	6,2	0	0,581	5,81	0	0,357	3,57	0	0,074	0,74
0,25	0,117	0,313	0	0,109	0,291	0,12	0,067	0,179	0,79	0,014	0,037	1,63
0,5	0,156	0	0	0,145	0	0,18	0,089	0	1,11	0,018	0	2,29
0,75	0,117	-0,013	0	0,109	-0,291	0,12	0,067	-0,179	0,79	0,014	-0,037	1,63
1	0	-0,063	6,2	0	-0,581	5,81	0	-0,357	3,57	0	-0,074	0,74
$\gamma_0$	$E_0 / E$											
0,4	0			0,001			0,01			0,1		
$x$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$
0	0	0,833	8,3	0	0,758	7,57	0	0,417	4,16	0	0,076	0,76
0,25	0,156	0,417	0	0,142	0,379	0,16	0,078	0,208	0,92	0,014	0,038	1,68
0,5	0,208	0	0	0,189	0	0,23	0,104	0	1,30	0,019	0	2,36
0,75	0,156	-0,417	0	0,142	-0,379	0,16	0,078	-0,208	0,92	0,014	-0,038	1,68
1	0	-0,833	8,33	0	-0,758	7,57	0	-0,417	4,16	0	-0,076	0,76
$\gamma_0$	$E_0 / E$											
0,4	0			0,001			0,01			0,1		
$x$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$
0	0	0,833	8,3	0	0,758	7,57	0	0,417	4,16	0	0,076	0,76
0,25	0,156	0,417	0	0,142	0,379	0,16	0,078	0,208	0,92	0,014	0,038	1,68
0,5	0,208	0	0	0,189	0	0,23	0,104	0	1,30	0,019	0	2,36
0,75	0,156	-0,417	0	0,142	-0,379	0,16	0,078	-0,208	0,92	0,014	-0,038	1,68
1	0	-0,833	8,3	0	-0,758	7,57	0	-0,417	4,16	0	-0,076	0,76
$\gamma_0$	$E_0 / E$											
0,6	0			0,001			0,01			0,1		
$x$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$
0	0	1,25	12	0	1,087	10,8	0	0,5	5	0	0,079	0,78
0,25	0,234	0,625	0	0,204	0,543	0,24	0,094	0,25	1,11	0,015	0,039	1,73
0,5	0,313	0	0	0,272	0	0,34	0,125	0	1,56	0,02	0	2,43
0,75	0,234	-0,625	0	0,204	-0,543	0,24	0,094	-0,25	1,11	0,015	-0,039	1,73
1	0	-1,25	12,5	0	-1,087	10,8	0	-0,5	5	0	-0,079	0,78
$\gamma_0$	$E_0 / E$											
0,8	0			0,001			0,01			0,1		
$x$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$	$M$	$Q$	$\sigma_3^0$
0	0	2,5	25	0	1,923	19,2	0	0,625	6,24	0	0,081	0,81
0,25	0,469	1,25	0	0,36	0,961	0,42	0,117	0,312	1,39	0,015	0,041	1,79
0,5	0,625	0	0	0,481	0	0,60	0,156	0	1,95	0,02	0	2,51
0,75	0,469	-1,25	0	0,36	-0,961	0,42	0,117	-0,312	1,39	0,015	-0,041	1,79
1	0	-2,5	25	0	-1,923	19,2	0	-0,625	6,24	0	-0,081	0,81

7-кестеде иілу моменті  $M(x)$ , көлденең күштер  $Q(x)$  және серпімді негіздің реактивті қысымы  $\sigma_3^0(x)$  функциялары серпімді негізбен қоса, динамикалық жүктеме әсер еткендегі топсалы-тіректі арқалықтың иілуі қарастырылып отыр. Салыстыру жүргізіп көрейік:

Иілу моменті  $M(x)$  ең үлкен мәні  $\gamma_0 = 0$  және  $E_0 = 0$  болғанда 0,125 болып отыр, ол мән  $\gamma_0 = 0,8$  және  $E_0 = 0$  болғанда 0,625-ке 5 есеге артты, ал  $\gamma_0 = 0$  және  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда 0,018 болса  $\gamma_0 = 0,8$  және  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда 0,02 ге 1,1 есеге артты. Ендеше, серпімді негіз динамикалық жүктеменің әсерін баяулатады екен.

Көлденең күштердің  $Q(x)$  ең үлкен мәні  $\gamma_0 = 0$  және  $E_0 = 0$  болғанда 0,5 болады,  $\gamma_0 = 0,8$  және  $E_0 = 0$  болғанда ол 2,5 болып, 5 есе артты,  $\gamma_0 = 0$  және  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда 0,072 болса,  $\gamma_0 = 0,8$  және  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда ол мән 0,081 болып, 1,12 есе артты.

Реактивті қысым функциясының  $\sigma_3^0(x)$  ең үлкен мәні  $\gamma_0 = 0$  және  $E_0 = 0,001$  болғанда 4,717 болды,  $\gamma_0 = 0,8$  және  $E_0 = 0,001 \cdot E$  ол мән 19,226-ға дейін, 4 есеге өсті, ал  $\gamma_0 = 0$  және  $E_0 = 0,1 \cdot E$  да 0,72 болса,  $\gamma_0 = 0,8$  және  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда ол мән 0,813-ке дейін, 1,1 есеге өсті.

8 - к е с т е

$\gamma_0$	0		0,2		0,4		0,6		0,8	
$E_0 / E$	0	0,001	0	0,001	0	0,001	0	0,001	0	0,001
$x$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,25	0,0092	0,0087	0,012	0,011	0,015	0,014	0,023	0,02	0,046	0,036
0,5	0,013	0,012	0,016	0,015	0,022	0,02	0,033	0,028	0,065	0,05
0,75	0,0092	0,0087	0,012	0,011	0,015	0,014	0,023	0,02	0,046	0,036
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\gamma_0$	0		0,2		0,4		0,6		0,8	
$E_0 / E$	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01	0,01	0,01	0,1	0,01	0,1
$x$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$	$u_3(x)$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,25	0,0057	0,00134	0,0066	0,00136	0,0077	0,0014	0,0092	0,00144	0,012	0,00149
0,5	0,0081	0,0018	0,0092	0,00192	0,011	0,00197	0,013	0,002	0,016	0,002
0,75	0,0057	0,00134	0,0066	0,00136	0,0077	0,0014	0,0092	0,00144	0,012	0,00149
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8-кестеде тік жылжу  $u_3(x)$  функциясының ең үлкен мәні  $\gamma_0 = 0$  және  $E_0 = 0$  болғанда — 0,013,  $\gamma_0 = 0,8$  және  $E_0 = 0$  болғанда ол мән 0,065-ке 5 есе өсті, ал  $\gamma_0 = 0$  және  $E_0 = 0,1 \cdot E$  де 0,0018 болса,  $\gamma_0 = 0,8$  және  $E_0 = 0,1 \cdot E$  болғанда ол мән 0,002-ге, 1,1 есе артты.

Сонымен, осы салыстырулардан серпімді негіз қатайған сайын динамикалық жүктеменің әсерінен пайда болатын өзгерістер баяулайтындығын көруге болады.

Алынған нәтижелерден  $E_0 = 0$  және  $\gamma_0 = 0$  болған жағдайда дербес жағдай ретінде серпінді негіз бен динамикалық жүктеме болмаған кездегі арқалық үшін шешімдерді аламыз.

Осылайша, қарапайым түрде серпінді негіздегі арқалыққа динамикалық жүктеменің әсері ескеріледі және серпінді негіз бен динамикалық жүктеме болмаған жағдайда арқалықтың белгілі нәтижелері алынады.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Тұрсынов К.А. Арқалықтың есептеу теориялары. — Қарағанды, 2007. — 141 б.