Ө.А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты

«Тау-кен ісі» кафедрасы

«6В07205» – «Тау-кен инженериясы» мамандығы студенттеріне арналған

MIN4621 «Жерасты құрылысының объектілері» пәні бойынша

6-практикалық жұмыс. Жерасты ғимараттарын өтудегі бекіту жұмыстарының параметрлерін есептеу

Оқытушы: Алменов Талгат Макулбекович, техн.ғыл.канд.,
«Тау-кен ісі» кафедрасының профессоры

Алматы, 2026

MIN4621 «Жерасты құрылысының объектілері» пәнінен
6-практикалық жұмыс. Жерасты ғимараттарын өтуде қолданылатын металл бекітпелерінің құрылымдарын есептеу

Жұмысты орындау мақсаты. *Білім алушыларға металл бекітпелерінің құрылымдарын таныстыру, металл бекітпелерін орнату әдістерін және металл бекітпелерінің конструкцияларын есептеуді үйрету осы практикалық жұмыс тақырыбын оқытудың негізгі мақсаты болып табылады.*

Практикалық жұмыстың теориялық бөлімі.

Қазіргі кезде металл бекітпелері көмір және тау-кен өнеркәсіптерінде ұстамсыз әлсіз жыныстарда жүргізілген қазбаларды және әртүрлі тоннельдерді бекітуге кеңінен қолданылуда [1].

Өндіріс тәжірибесінде мынадай кәсекті металл бекітпелер пайдаланылуда: аркалы және сақинала отырма бекітпелер, аркалы, сақиналы және трапеция тәрізді шарнирлік қатты бекітпелер, т.б. конструкциялар.

Аркалы отырма бекітпелер қазбада бір-бірінен **0,3-1,3м** арақашықтықта орнатылатын жеке аркалардан, арка аралық тіреулерден және темірбетон немесе ағаш тартпалардан тұрады.

Үшбуынды отырмалы бекітпенің АП-3 аркасы (1а-сурет) маңдайшадан (1) және екі тіреуден (2), ал бес буынды отырмалы бекітпенің АП-5 (**1б-сурет**) аркасы маңдайшадан (1), екі тіреулерден (2) және екі отырмалы аяқтарынан (3) тұрады.

Арканың барлық буындары қапсырмалармен (4), планкалармен (5) және тығырықтармен (6) (**1-сурет** I, IV түйіндер) өзара бір-біріне қосылған. Қазбаның бойымен әрбір арка бір-бірімен үш кәсекаралық тартпалармен (3) (**1а-суретті** қараңыз) қосылады, олар қазбаның төбе және бүйір тұстарында орналасады (III түйін). Кәсекаралық тартпалар (3) бекітпенің аркасына қапсырмалар (4), планкалармен (5) және тығырықтар (6) арқылы бекітіледі.

Бекітпенің тірелу ауданын ұлғайту үшін бүйір тіреулердің ішіне (үшбуынды бекітпе) (II түйін) немесе отырмалық элементтерге (бес буынды бекітпе) (IV түйін) диафрагма (7) пісіріліп бекітіледі. Қазба табанында әлсіз жыныстар болғанда, кейде арнайы тірелетін башмактар орнатады (V түйін).

Аркалы отырма бекітпелердің алты типмөлшерлерлі арнайы астау тәрізді профилі бар болат прокаттардан (ст. 5 маркадан) дайындайды: СВП-14. СВП-17, СВП-19, СВП-22, СВП-27, СВП-33.

Бекітпелерді дайындайтын кейбір болаттардың механикалық қасиеттері 1-кестеде келтірілген [1].

Сапасы кәдімгідей болаттардың ағын (созылу) шегінің салыстырмалы мәні төмен болғанда, бекітпенің массасы да ұлғаяды.

Кәсекаралық тартпалар әлбетте бұрыштама прокаттардан дайындалады - 60×60×6 мм.

Бекітпенің отырмалылығына арқа буындарының бір-біріне қосылған жерде кірісуі арқылы жетеді. Үшбуынды арқаның отырмалық шамасы жоба бойынша 300 мм, бесбуындық – 700мм дейін.

1-кесте

Болаттың аталуы	Болаттың маркасы	Ағын (созылу) шегі (кем емес) σ_T, МПа	Беріктік шегі (кем емес) $\sigma_{пр}$, МПа	Салыстырмалы созылуы (кем емес), %	
				δ_1	δ_5
Сутегілік кәдімгі сапалы	Ст. 3	200-250	380-470	21	25
	Ст. 4	230-270	420-520	19	23
	Ст. 5	260-290	500-620	15	190
Төмен легірленген қазба бекітпелері үшін	20 Г2 АФпс	580	750	18	22,6
	23 ГАХ пс	480	710	17	21,0

Бесбуынды – төбенің ығысуы 300мм артық болғанда, аркалық үшбуынды бекітпе төбенің ығысуы 300мм аспайтын қазбаларда қолданылады.

Аркалы үшбуынды бекітпелердің түрлері мен қазбалардың параметрлері 2-кестеде келтірілген. Аркалы металл отырмалы бекітпенің параметрлерін есептеу мынадай кезекпен жүргізіледі.

1. **2-суретте** келтірілген есептеу схемасы бойынша қазбаның төбе және бүйірлері тұсындағы нормативтік қысымның қарқындылығы анықталады:

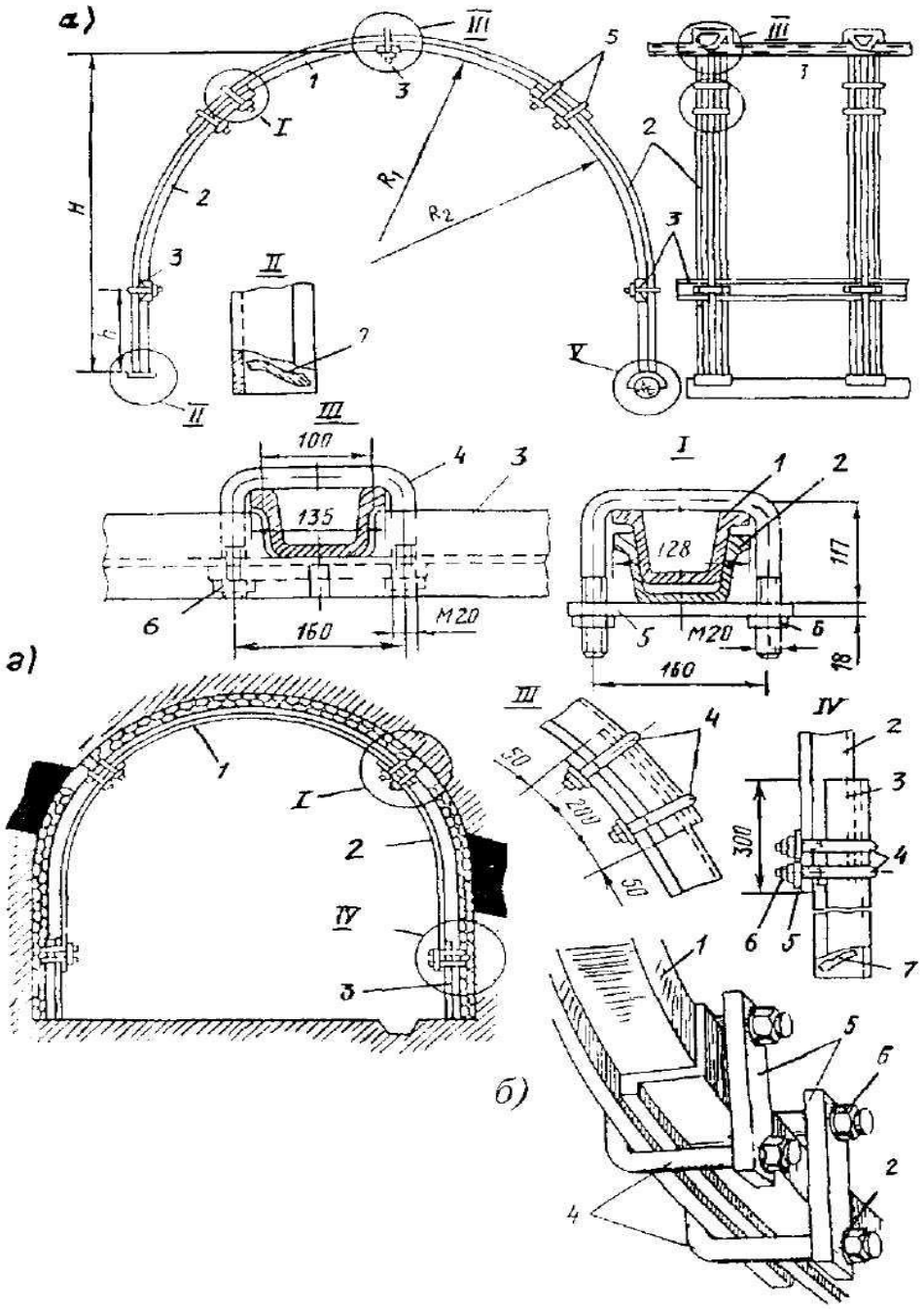
а) төбедегі жыныстардың мықтылық еселеуіштері $n_к \leq 1$ болғандағы опырылым күмбезінің биіктігі:

$$в_1 = \frac{0{,}5 \cdot l \cdot h_0 \cdot ctg\theta}{tg\varphi}, \text{ м}, \qquad (1)$$

мұндағы l – арканың табандағы ені,м

h_0 – арканың биіктігі, м

$$\theta = 45^0 + \frac{\varphi}{2}.$$



а – үшбуынды; б – бесбуынды; в – арка буындарының отырмалы қосындыларының жалпы түрі

1-сурет. Арнайы профильден жасалған аркалы металл отырма бекітпелер

б) төбе тұсындағы қазбаның 1 м еніне түсетін нормативтік жүктеменің қарқындылығы:

$$q = в_1 \cdot \gamma \cdot L \cdot g \cdot 10^{-3} \text{ , кН/м,} \qquad (2)$$

мұндағы L – аркалардың арақашықтығы, м

в) аркаға түсетін нормативтік бүйір жүктемесі

$$D = 0{,}5 \cdot \gamma \cdot L \cdot h_0 \cdot \left(2 \cdot в_1 + h_0\right) \cdot tg^2 \cdot \left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right) \cdot 10^{-2}, \text{ кН.} \qquad (3)$$

2. Жазық тойтарыс күші Н төмендегі формула бойынша есептеледі:

$$H = \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot h_0} - \frac{D \cdot r}{h_0},\ \text{кН}, \qquad (4)$$

мұндағы r – арканың доғасының радиусы, м.

3. Тіреулердің керітартпа серпілістері табылады:

$$A=B=0{,}5 \cdot q \cdot l,\ \text{кН}. \qquad (5)$$

4. Қауіпті қиманың координаттары есептеледі:

$$x_0 = \sqrt{r^2 - \frac{(H+D)^2}{q^2}},\ \text{м}, \qquad (6)$$

$$y_0 = \sqrt{\left(r^2 - x_0^2\right)} + h,\ \text{м}. \qquad (7)$$

5. Ең үлкен иілу моменті есептеледі:

$$M_{\max} = A \cdot (0{,}5 \cdot l - x_0) - 0{,}5 \cdot q \cdot (0{,}5 \cdot l - x_0)^2 - H \cdot y_0 - D \cdot (y_0 - h),\ \text{кН·м}, \qquad (8)$$

мұндағы h – остік доғаның ортасынан қазба табанына дейінгі биіктік, м.

6. Кедергі моменті анықталады:

$$W = \frac{M_{\max}}{[\sigma_T]},\ \text{м}^3, \qquad (9)$$

мұндағы $[\sigma_T]$ – ағынға (иілуге) мүмкін болатын кедергі (1-кесте), МПа $\left(10^3 \cdot \frac{кН}{м^2}\right)$.

7. 2-кестеден арнайы профильдің нөмірі, параметрлері таңдалады.

8. Остік сығылу күші анықталады:

$$N = A \cdot \frac{x_0}{r} + q \cdot \left(\frac{l}{2} - x_0\right) - H \cdot \frac{(y_0 - h)}{r} - D \cdot \frac{(y_0 - h)}{h},\ \text{кН}. \qquad (10)$$

9. Қауіпті қимадағы жалпы кернеу есептеледі:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} + \frac{N}{F},\ \text{Н/м}^2\ (\text{Па}), \qquad (11)$$

мұндағы Ғ – профильдің көлденең қимасының ауданы, м^2, (1-кестені қараңыз).

10. Егер $\sigma \le [\sigma_T]$ болса, онда арка берік деп саналады. Бұдан басқаша болса, аркалардың арақашықтығын кеміту немесе прокаттың профилін үлкейту керек.

Практикалық жұмыстың есептік бөлімі.

Мысал. Мына шарттар бойынша металл-аркалы отырмалы бекітпені есептеңіз. Қазбаның көлденең қимасының таза ауданы S=8,5 м^2 (2-кестені

қараңыз). Арканың ені $l = 3{,}5$ м, биіктігі $h_0 = 2{,}8$ м, остік доғаның ортасына дейінгі қазбаның табанынан биіктігі $h = 1{,}1$ м, остік доғаның радиусы $r = 1{,}7$ м.

Жыныстардың ішкі үйкеліс бұрышы $\varphi = 39^0$; $tg\varphi = 0{,}80$; төбедегі және бүйірлеріндегі жыныстар орнықсыз (қазба жүргізетін тереңдік Н=500 м, $f = 7$, мықтылық еселеуіш коэффициенттері $n_б$=0,3, $n_б$=1,15 $n_к$=0,4).

Жыныстардың тығыздығы $\gamma = 2600$ $кг/м^3$. Арка кәсектерінің арақашықтығы L=0,5 м.

Шешімі. Опырылыс күмбезінің биіктігін анықтаймыз:

а) $$в_1 = \frac{0{,}5 \cdot 3{,}5 + 2{,}8 \cdot ctg \cdot \left(45^0 + \frac{39^0}{2}\right)}{0{,}80} = 3{,}85 \ м,$$

б) төбе тұсындағы жүктеменің қарқындылығы:

$$q = 3{,}85 \cdot 2600 \cdot 0{,}5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 50 \ \text{кН/м};$$

в) нормативтік бүйір жүктемесі:

$$D = 0{,}5 \cdot 2600 \cdot 0{,}5 \cdot 2.8 \cdot \left(2 \cdot 3{,}85 + 2{,}8\right) \cdot tg^2 \cdot \left(45^0 - 19{,}5^0\right) \cdot 10^{-2} = 42{,}04 \ \text{кН};$$

2. Жазық тойтарыс күшін Н есептейміз:

$$H = \frac{50 \cdot (3{,}5)^2}{8 \cdot 2{,}8} - \frac{42{,}04 \cdot 1{,}7}{2{,}8} = 1{,}84 \ \text{кН}.$$

3. Тіреулердің керітартпа серпілістерін табамыз:

$$A = B = 0{,}5 \cdot 50 \cdot 3{,}5 = 87{,}5 \ кН.$$

4. Қауіпті қиманың координаттарын есептейміз:

$$x_0 = \sqrt{(1{,}7)^2 - \frac{(1{,}84 + 42{,}04)^2}{(50)^2}} = 1{,}45,$$

$$y_0 = \sqrt{(1{,}7)^2 - (1{,}45)^2} + 1{,}1 = 2{,}0 м.$$

5. Ең үлкен иілу моментін есептейміз:

$$M_{\max} = 87{,}5 \cdot (0{,}5 \cdot 3{,}5 - 1{,}45) - 0{,}5 \cdot 50 \cdot (0{,}35 \cdot 3{,}5 - 1{,}45)^2 - 1{,}0 \cdot 2{,}0 - 42{,}04 \cdot (2{,}0 - 1{,}1) =$$
$$= -17{,}50 \approx [17{,}5] кН \ \cdot м$$

6. Ст. 5 маркалы болат үшін $[\sigma_T] = 270 МПа = 270 \cdot 10^3 \frac{кН}{м^2}$ (1-кесте қабылдаймыз, онда:

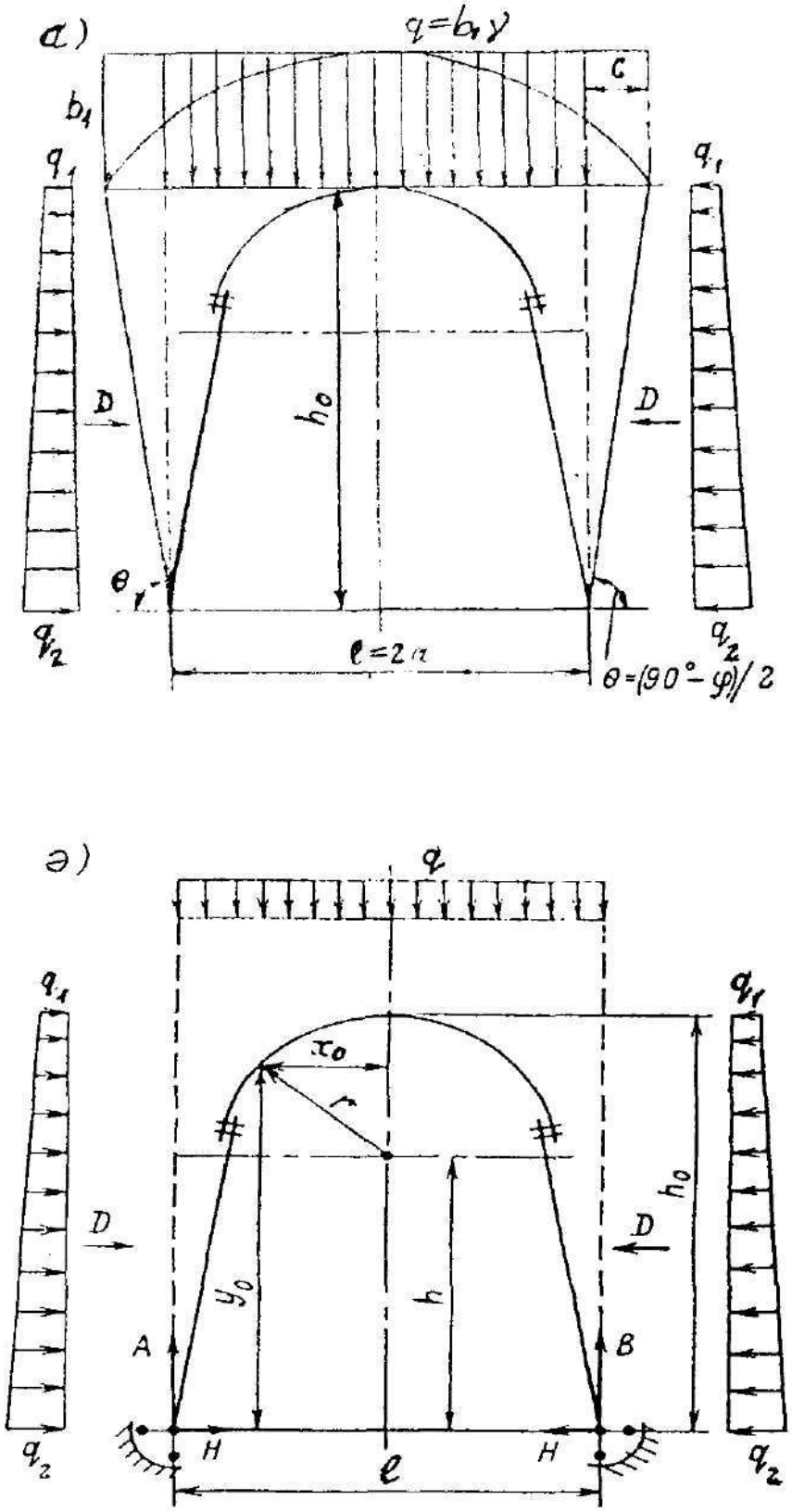
$$W = \frac{17{,}5}{270 \cdot 10^3} = 0{,}64 \cdot 10^{-4} м^3 \ \ 64{,}0 \ см^3.$$

7. Табылған кедергі моменті бойынша 4.6-кестеден керекті профильді – салмағы 21,9 $кг/м$, кедергі моменті $W = 74{,}8$ $см^3$ және көлденең қимасының ауданы $F = 27{,}9$ $см^2 = 27{,}9 \cdot 10^{-4} м^2$ қабылдаймыз.

2-кесте

Қазбаның және аркалы үшбуынды металл бекітпенің кейбір параметрлері

Қазбаның көлденең қимасының таза ауданы S, $м^2$	СВП профи-лінің нөмірі	Арнайы профиль-дің 1 м массасы, кг	Про-фильдің биіктігі, см	Профиль-дің көлденең қимасыны ң ауданы F, $см^2$	Х-Х осіне қатысты момент кедергі-сі W_x, $см^3$	Арка-ның табан бойын-ша ені l, м	Арка-ның биіктігі, h_o, м	Остік доғаның радиусі r, м	Остік доғаның ортасы-нан қазба табанына дейінгі биіктік h, м
5,5	14	14,7	8,8	18,7	40,7	2,5	2,5	1,2	1,3
6,5	17	17,1	9,4	21,3	50,3	3,2	2,6	1,5	1,1
7,5	17	17,1	9,4	21,3	50,3	3,2	2,8	1,5	1,3
8,5	19	19,2	10,2	24,4	61,3	3,5	2,8	1,7	1,1
10,5	22	21,9	11,0	27,9	74,8	4,2	3,1	2,0	1,1
12,5	27	27,0	12,3	34,37	100,2	4,7	3,3	2,2	1,1
14,5	27	27,0	12,3	34,37	100,2	5,0	3,3	2,3	1,1
17,2	27	27,0	12,3	34,37	100,2	5,2	3,4	2,4	1,2



2-сурет. Аркалы отырмалы бекітпені есептеу схемасы

а - тау қысымын; ə - бекітпенің элементерін

8. Остік сығылу күшін анықтаймыз:

$$N = 87{,}5 \cdot \frac{1{,}45}{1{,}7} + 50 \cdot \left(\frac{3{,}5}{2} - 1{,}45 \right) - 1{,}84 \cdot \frac{(2-1{,}1)}{1{,}7} - 42{,}04 \cdot \frac{(2-1{,}1)}{1{,}7} = 66{,}4 \ \ кН \ .$$

9. Қауіпті қимадағы жалпы кернеуді есептейміз:

$$\sigma = \frac{17{,}50 \cdot 10^3}{74{,}8 \cdot 10^{-6}} + \frac{66{,}4 \cdot 10^3}{27{,}9 \cdot 10^{-4}} = (234 + 23{,}8) \cdot 10^6 = 257{,}8 \cdot 10^6\ Па = 257{,}8\ \ МПа.$$

10. Егер $\sigma \le [\sigma_T]$ болса, онда арка берік деп саналады. Есептеу бойынша $257{,}8 \le 270 МПа$, сондықтан біржола прокат профилін $(21{,}9\ кг/м)$ және аркалар арақашықтығын L=0,5 м деп қабылдаймыз.

6-шы тәжірибелік жұмыстың тапсырмасы: Төмендегі деректер бойынша металл-аркалы отырмалы бекітпенің параметрлерін есептеңіз.

3-кесте

Бастапқы деректер

Вар. №	H, м	γ, $кг/м^3$	f	K_c	ξ	$S_{вч}$, $м^2$	l, м	h_0, м	r, м	h, м	$[\sigma_T]$, МПа
1	700	2750	3,0	0,50	0,75	8,5	3,5	2,8	1,7	1,1	280
2	800	2800	4,0	0,40	0,65	12,0	4,7	3,3	2,2	1,1	270
3	600	2600	1,5	0,25	0,80	6,5	3,2	2,6	1,5	1,1	260
4	650	2700	2,0	0,30	0,75	7,5	3,2	2,8	1,5	1,3	270
5	750	2650	4,0	0,50	0,85	8,5	3,5	2,8	1,7	1,1	270
6	900	2750	5,0	0,45	0,80	10,5	4,2	3,1	2,0	1,1	280
7	850	2700	3,0	0,65	0,75	10,5	4,2	3,1	2,0	1,1	280
8	1000	2900	6,0	0,50	0,80	12,0	4,7	3,3	2,2	1,1	290
9	950	2800	5,0	0,60	0,90	7,5	3,2	2,8	1,5	1,3	290
10	700	2650	4,0	0,55	0,65	14,5	5,0	3,5	2,3	1,1	280
11	800	2750	3,0	0,60	0,75	10,5	4,2	3,2	2,0	1,1	270
12	640	2650	1,8	0,45	0,65	7,0	3,3	2,6	1,5	1,1	260
13	670	2750	2,5	0,35	0,75	7,5	3,4	2,8	1,5	1,3	270
14	780	2700	3,5	0,45	0,80	8,0	3,5	2,8	1,7	1,1	270
15	930	2900	4,5	0,50	0,85	9,5	3,8	3,0	2,0	1,1	280
16	870	2750	3,5	0,65	0,70	10,0	4,0	3,1	2,0	1,1	280
17	960	2850	5,5	0,60	0,75	11,0	4,2	3,2	2,2	1,1	290
18	900	2700	6,0	0,55	0,90	8,5	3,2	2,8	1,5	1,3	290
19	730	2600	4,5	0,50	0,65	14,0	5,0	3,5	2,3	1,1	280
20	840	2730	5,0	0,65	0,80	12,0	4,2	3,3	2,0	1,1	270

Ескерту: Аркалардың кәсектерінің арақашықтығы: $L = 0{,}5\ \ м$; $tg\varphi = \dfrac{R_{сж} - R_{сж}}{R_{сж} + R_{сж}}$;

$R_{сж} = \sigma_{сж} \cdot K_c \cdot \xi$; $R_p = \sigma_p \cdot K_c \cdot \xi$; $\sigma_{сж} = 10 \cdot f, МПа$; $\sigma_p = 0{,}1 \cdot f, МПа.$

Әрбір білім алушыға 6-шы практикалық жұмыстың есептік бөлімін орындауға арналған варианттарды оқытушы өзі ұсынады.

Практикалық жұмыс тақырыбы бойынша бақылау сұрақтары:

1. Аркалы металл бекітпелері қандай шарттарда, қандай қазбаларды бекітуге қолданылады?
2. Үшбуынды металл аркалы отырмалы бекітпенің құрылымын түсіндіріңіз?
3. Төртбуынды металл аркалы отырмалы бекітпенің құрылымын түсіндіріңіз?
4. Бесбуынды металл аркалы отырмалы бекітпенің құрылымын түсіндіріңіз?
5. Метал бекітпелерді неге қатаң түрдегі және отырмалы метал бекітпелері деп бөледі?
6. Металл аркалы отырмалы бекітпені онату әдістерін түсіндіріңіз?

Ұсынылатын әдебиеттер:

Негізгі [1, 3], қосымша [4, 6, 7].

Оқытушы,
техн.ғыл.канд., профессор **Алменов Т.М.**