

**ҚАРАҚАЛПАҚ МӘМЛЕКЕТЛИК УНИВЕРСИТЕТИ
ТЕХНИКА ФАКУЛЬТЕТИ**

«ИМАРАТЛАР ҲӘМ СООРУЖЕНИЕЛЕР ҚУРЫЛЫСЫ» КАФЕДРАСЫ

МАТЕРИАЛЛАР ҚАРСЫЛЫҒЫ пәнінен

**«Буралыў» темасына
ашық сабақ**

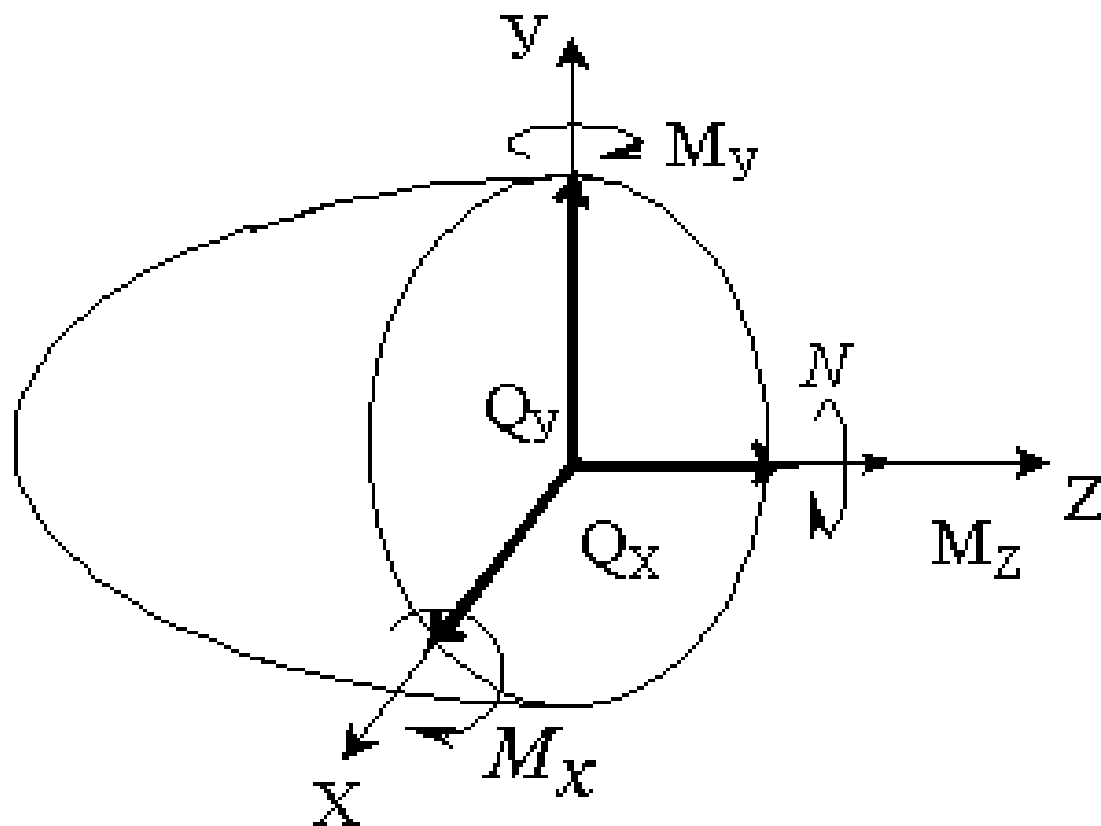
т.и.к. Утегенова Г

НӨКИС-2015

Тема: Буралыў

- 1. Дөңгелек кесимли брустың буралыўы
- 2. Буралыўдағы беккемлилик ҳәм қаттылық шәртлери
- 3. Буралыўдағы потенциал энергия
- 4. буралыўдағы кернеўлилик жағдайы ҳәм вал жемирилиўиниң (сыныўының) анализи
- 5. Буралыўдағы статикалық анық емес мәселелер

ИШКИ ФАКТОРЛАР



$$\sum Z = 0$$

$$\sum X = 0$$

$$\sum Y = 0$$

$$\sum M_Z = 0$$

$$\sum M_X = 0$$

$$\sum M_Y = 0$$

Егер кернеулілік жағдайындағы брустың кесе кесімлерінде ишки күш факторларынан тек бураушы момент бар болып, ал қалғанлары нольге тең болса, бундай жағдайда **буралыу деформациясы** пайда болады.

Әмелде буралыу деформациясын жүдә көп ушыратыу мүмкин. Мәселен: тирсекли, трансмиссион хәм усыған усаған валлар, кеңисликтеги конструкция элементлери, пружиналардың орамлары, болт хәм усы сыяқлылар тийкарынан буралыу деформациясына қарсылық көрсетеди.

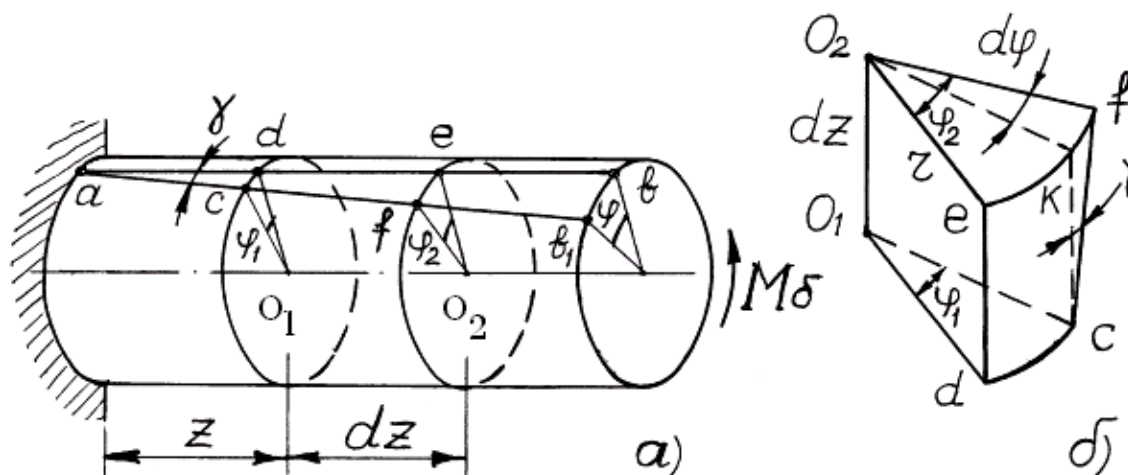
1. Дөңгелек кесимли брустың буралыуы

Буралыуға тийисли гүзетиулер тийкарында төмендеги әпиуайыластырыуларды қабыл етиу мүмкин:

- 1) деформацияға дейинги тегис кесимлер деформациядан кейин де тегис болып қалады, брус көшерине нормал жағдайы өзгермейди (тегис кесимлер ямаса Бернулли гипотезасы);
- 2) кесе кесимнің радиустары тууры сызық жағдайында қалып, қандай да бир мүйешке бурылады;
- 3) кесе кесимлер арасындағы аралықтар деформация нәтижесинде өзгермейди.

Усы әпиұайыластырыұлардың дурыслығын бетине бойлама хәм кесе сызықлардан қуралған квадратлардан ибарат тор сызылған цилиндрли резина брустың буралыұын гүзетиұ де тастыйықлайды.

Буннан басқа, гүзетиұлер нәтийжелери тийкарында буралып атырған бруслардың кесе кесимлеринде урынба кернеұлер пайда болады, тап сондай урынба кернеұлер олардың жуплық нызамына сәйкес бойлама кесимлеринде де пайда болады деген жуұмақ шығара аламыз. Кесе кесимлердин өлшемлериниң хәм олар арасындағы аралықлардың өзгермеслиги брустың кесе хәм бойлама кесимлеринде нормал кернеұлердин пайда болмайтуғынлығын көрсетеди.



1 – сүўрет

Буралып атырған брустан (1 - сүўрет,а) $cdefO_2O_1$ элементин (1-сүўрет,б) ажыратып алайық. Буралыў нәтийжесинде орайы O_1 болған кесим φ_1 мүйешке, оннан dz аралықта жайласқан орайы O_2 болған кесим $\varphi_2 = \varphi_1 + d\varphi$ мүйешке бурылады. Сүўреттен, бир тәрәптен $Kf = r \cdot d\varphi$, (а); екинши тәрәптен $Kf = \gamma \cdot dz$ (б). Усы (а) хәм (б) теңлемелериниң оң тәрәплерин теңлеп: $\gamma \cdot dz = r \cdot d\varphi$, буннан

$$\gamma = r \frac{d\varphi}{dz}$$

Усыған ухсас, тегис кесимлер гипотезасына сәйкес, кесим орайынан ρ

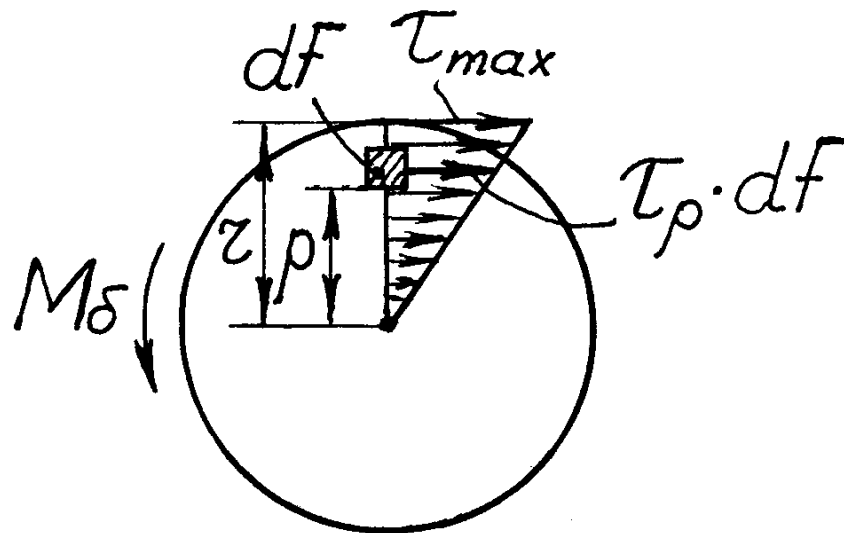
аралықтағы точка ушын жылжыў мүйеши

$$\gamma_\rho = \rho \frac{d\varphi}{dz} \quad (1)$$

Буралыу деформациясы таза жылжыу деформациясынан ибарат болғанлықтан, брустың кесе кесиминде бөлистирилетуғын урынба кернеуді таза жылжыудағы Гук нызамы тийкарында табамыз:

$$\tau_{\rho} = \gamma_{\rho} G = G\rho \frac{d\varphi}{dz} \quad (2)$$

(1) хәм (2) формулалардан, буралыуда кесе кесимдеги точканың жылжыу деформациясы хәм урынба кернеуи кесе кесимнің аўырлық орайына дейинги аралыққа туўры пропорционал екенлиги көринеди. Буралып атырған брустың кесе кесиминде урынба кернеўлердің бөлистирилиў эпюрасы 2-сүүретте көрсетилген. Кесимнің орайында урынба кернеўлер нольге тең. Ең үлкен урынба кернеўлер брустың бетинде жайласқан точкаларда тәсиір етеди.



2-сүүрет

Тең салмақтылық теңлемесін дүзсек (брустың көшеріне салыстырғандағы моменттер теңлемесі):

Бұған (2) ни қойып,

$$M_{\theta} = \int_F \tau_{\rho} dF \cdot \rho$$

$$M_{\theta} = \int_F G \rho^2 \frac{d\varphi}{dz} dF = G \frac{d\varphi}{dz} \int_F \rho^2 dF \quad \text{ни пайда етемиз.}$$

Бұл жерде:

$$\int_F \rho^2 dF = I_{\rho}$$

Сонда

$$M_{\theta} = G I_{\rho} \frac{d\varphi}{dz}$$

ямаса

$$\frac{d\varphi}{dz} = \frac{M_{\theta}}{G I_{\rho}} \quad (3)$$

болады.

(3) формула буралыу теориясындағы ең тийкарғы ғәрезлилик болып есапланады.

(3) ди (2) ге қойсақ

$$\tau_{\rho} = \frac{M_{\theta}}{I_{\rho}} \rho \quad (4)$$

пайда болады. Усы (4) формула жәрдемінде буралыу деформациясындағы ықтиярий кесімнің қәлеген точкасындағы урынба кернеу анықланылады. Бұл формуланың алымындағы бураушы момент M_{θ} ның мәніси бураушы моменттің эпюрасынан тийисли кесім ушын алынады.

Қаралып атырған кесімдегі ең үлкен урынба кернеу

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\delta}}{I_{\rho}} r = \frac{M_{\delta}}{\frac{I_{\rho}}{r}}$$

Бұл формуланың бөліміндегі қатнас:

$$\frac{I_{\rho}}{r} = W_{\rho} \quad (5)$$

кесе кесімнің **полярлық қарсылық моменти** деп аталады.

Енді валдың кесе кесіміндегі ең үлкен урынба кернеуді анықлау формуласын

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\delta}}{W_{\rho}} \quad (6)$$

көринісінде жазамыз.

Дөңгелек кесім үшін полярлық қарсылық моментинің формуласын келтіріп шығарамыз:

$$W_{\rho} = \frac{I_{\rho}}{r} = \frac{\pi d^4}{32 \cdot \frac{d}{2}}$$

яғна

$$W_{\rho} = \frac{\pi d^3}{16} \approx 0,2d^3. \quad (7)$$

Сақыйна тәризли кесимниң полярлық қарсылық моменти:

$$W_p = \frac{\pi D^4}{32 \cdot D/2} (1 - c^4)$$

ямаса

$$W_p = \frac{\pi D^3}{16} (1 - c^4) \approx 0,2 D^3 (1 - c^4) \quad (8)$$

бул жерде

$$c = \frac{d}{D}$$

Буралыўдағы деформацияны анықлаў ушын (3) формуланы узынлық бойынша интеграллаймыз.

Улыўма

$$\varphi = \frac{M_\delta \cdot l}{GI_p} \cdot (\text{рад}) \quad (9)$$

Бул жердеги GI_p көбеймеси буралыўдағы **қаттылық** деп аталады.

Узынлық бирлигине туўры келетуғын буралыў мүйеши **салыстырмалы буралыў мүйеши** деп аталады:

$$\theta = \frac{\varphi}{l} = \frac{M_\delta}{GI_p} \quad (10)$$

2. Буралыўдағы беккемлилик ҳәм қаттылық шәртлери

Буралыўға жумыс ислейтуғын конструкция элементлериниң беккемлилигин тәмийинлеў ушын оларда пайда болатуғын ең үлкен урынба кернеўлердиң мәнислерин шегаралап қойыў керек:

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\phi}}{W_P} \leq [\tau] \quad (11)$$

Полат материалы ушын буралыўдағы рухсат етилген урынба кернеў:

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,6) [\sigma_{\text{ш}}];$$

$$\text{шойын ушын:} \quad [\tau] = (1 \dots 1,2) [\sigma_{\text{ш}}];$$

Буралыўдағы беккемлилик шәрти жәрдемінде үш түрли мәселе шешилиўи мүмкин:

1. Берилген конструкцияның беккемлилигин тексерий. Бунда (11) шартиниң қанаатландырылыўы тексериледи.

2. Қәўипсиз жүк мәнисин анықлаў: $M_{\phi} \leq W_P [\tau]$

3. Жойбарлаў мәселеси. Бунда валдың зәрүр өлшемлери есапланады:

$$W_P = \frac{\pi d^3}{16} \geq \frac{M_{\phi}}{[\tau]},$$

буннан дөңгелек кесимниң диаметри

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 M_{\phi}}{\pi [\tau]}}.$$

Сақыйна тәризли кесимниң зәрүр болған сыртқы диаметри:

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{16M_{\epsilon}}{\pi[\tau](1-c^4)}}$$

ишки зәрүр диаметри: $d=cD$.

Буралыўға жумыс ислейтуғын валлар беккемлилик пенен бирге қаттылыққа да есапланады. Вал қаттылығын тәмийинлеў ушын оның ең үлкен салыстырмалы буралыў мүйеши, рухсат етилетуғын мәнистен аспаўын тәмийинлеў керек, яғный:

$$\theta = \frac{M_{\epsilon}}{GI_p} \leq [\theta] \quad , \quad (12)$$

бул жерд $[\theta]$ - рухсат етилген буралыў мүйеши, рад/м.

Көпшилик жағдайларда рухсат етилген буралыў мүйеши град/м ларда бериледи. Онда қаттылық шарти

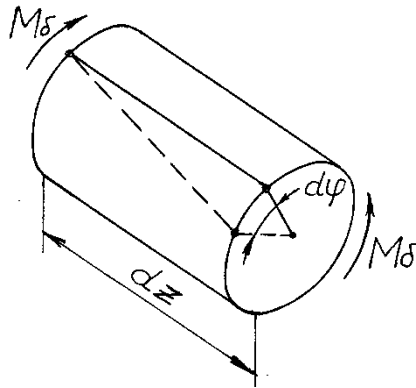
$$\theta = \frac{180}{\pi} \frac{M_{\epsilon}}{GI_p} \leq [\theta] \quad (13)$$

көринисинде жазылады. Әдетте машина қурылысында рухсат етилген салыстырмалы буралыў мүйеши $[\theta]=0,25...1,0$ град/м.

Қаттылық шарти беккемлиликке есаплағандағыдай есаплаўларды орынлаўға имкан береді.

3.Буралыудағы потенциал энергия

Буралып атырған бруста топланатуғын потенциал энергия созылыу - қысылыу деформациясындағыға ухсас анықланады.



3-сүүрет

Буралып атырған брустың dz ұзындықтағы бөлегин қарап шығайық (3-сүүрет). Элементте топланған потенциал энергия

$$dU = \frac{1}{2} M_\delta \cdot d\varphi$$

(3) формуласын нәзерде тутсақ

$$dU = \frac{M_\delta^2 dz}{2GI_p} \quad \text{келип шығады.}$$

Бул аңлатпаны ұзындық бойынша интегралласақ, брустың толық потенциал энергиясы табылады:

$$U = \int_0^l \frac{M_\delta^2 dz}{2GI_p}. \quad (14)$$

Егер бураушы момент хәм вал қаттылығы
узынлық бойынша турақлы болса

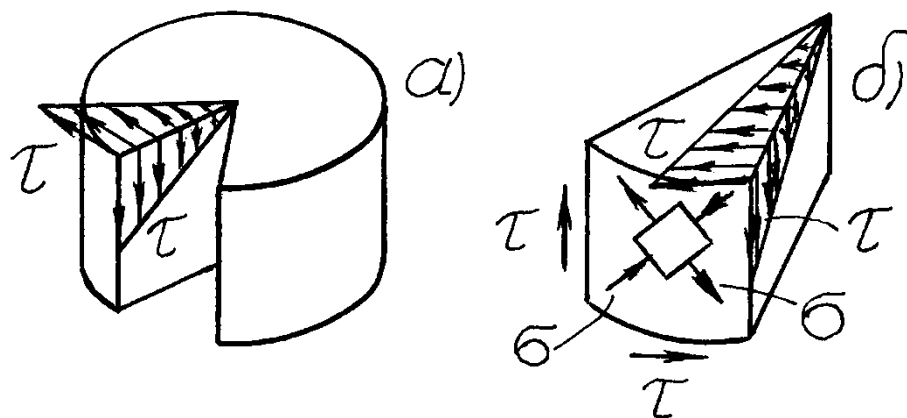
$$U = \frac{M_o^2 l}{2GI_p} - \frac{\varphi^2 GI_p}{2l} \quad (\partial жс) \quad (15)$$

болады. Ақырғы байланыста (9) формула
тийкарында алынған $M_o = \frac{\varphi GI_p}{l}$ аңлатпадан
пайдаланылды.

4. Буралыудағы кернеулилик жағдайы хәм валдың бузылыуының анализи

Буралып атырған валдың кесе кесимлеринде урынба кернеулер пайда болып, олар кесим орайындағы нольден кесим шетлериндеги ең үлкен мәнислерге дейин (4) формуласы бойынша туўры сызықлы нызам тийкарында өзгереди (4 - сүүрет,а,б). Урынба кернеулердин жуплык нызамына көре брустың бойлама кесимлеринде де тап сондай урынба кернеулер тәсир етеди.

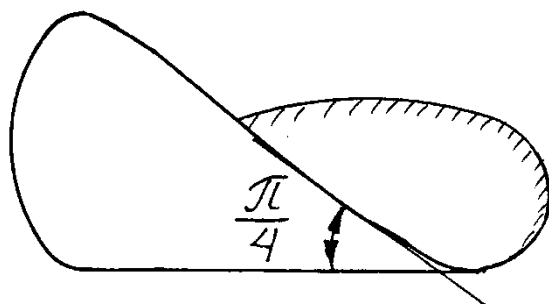
Буралып атырған вал бетинде бойлама хәм кесе жасаўшылардан ибарат кесимлерде тек ғана урынба кернеулер тәсир етеди (4 - сүүрет). Демек, әне усындай жасаўшылар арқалы ажыратылған элемент таза жылжыў жағдайында болады.



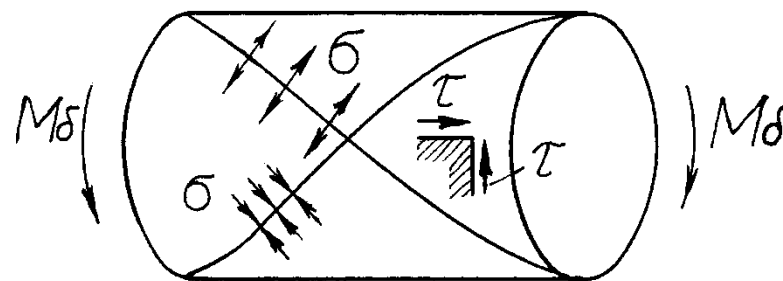
4 - сүүрет,а,б

Усы жасаушыларға салыстырғанда қыя жайласқан майданшаларда хэм нормал хэм урынба кернеулер тәсир етеди. Бундай жағдайда ең үлкен созыушы хэм қысыушы нормал кернеулер таза жылжыу майданшаларына салыстырғанда (буралыуда вал көшерине салыстырғанда) 45 хэм 135 градусларда қыя майданшаларда тәсир етеди (4 - сүүрет, 6 хэм 5 - сүүретлер).

Солай етип, дөңгелек кесимли валлардың буралыуында да кесе хэм бойлама кесимлерде тәсир етиуши урынба кернеулер, хэм оларға салыстырғанда 45 градус мүйеш астында жайласқан қыя кесимлердеги нормал кернеулер де қәуипли болыуы мүмкин. Демек, валдың бузылу процесси оның материалының жылжыу хэм үзилиуге қарсылық көрсетиу қәбилетине байланысly болады. (6- сүүрет).

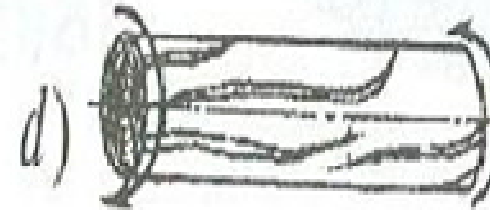
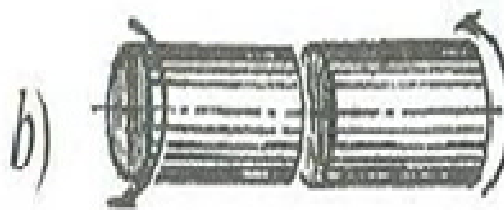
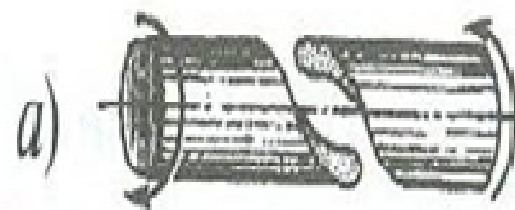


5 - сүүрет



6 - сүүрет

Хәр ҡыйлы материаллардан таярланған
үлгилердинң буралыўы нәтийжесинде
бузылыў (сыныў) процесси



а) морт материал; б) пластик материал; д) анизотроп материал.

5. Буралыўдағы статикалық анық емес мәселелер

Буралыўдағы статикалық анық емес мәселелерди шешиў тәртиби созылыў-қысылыўдағы статикалық анық емес мәселелерди шешиў тәртибине уқсас.

Мысал: еки ушы қыстырып беккемленген полат валдың беккемлилигин тексеремиз (7 - сүўрет).

Берилгени: Валдың өлшемлери: $l_1=2$ м; $l_2=1$ м; $d_1=15$ см; $d_2=12$ см;

Сыртқы бураўшы момент $M=40$ кНм; материал ушын рухсат етилген урынба кернеў $[\tau]=60$ мПа.

Шешилиўи: 1. Таяныш реакция моментлерин (M_A ҳәм M_B) белгилеп аламыз.

2. Статиканың тең салмақлылық теңлемесин дүземиз.

$$\Sigma M_Z=0, M_A-M+M_B=0 \quad (1)$$

$n=2-1=1$ мәрте.

3. Мәселениң геометриялық тәрөпин қараймыз. Валдың ушлары қыстырып беккемленгенликтен, оның бөлеклериниң буралыў мүйешлериниң алгебралық жыйындысы нолге тең болады

$$\varphi=\varphi_1+\varphi_2=0.$$

Мәселениң физикалық тәрөпин қараймыз. Бунда жоқарыдағы формулаға мәнислерин қойамыз:

$$\frac{-M_A * l_1}{GI_p'} + \frac{M_B * l_2}{GI_p''} = 0 \quad (2)$$

Бул жерде вал бөлөклеринин полярлық инерция моментлери:

$$I'_p = \frac{\pi d_1^4}{32} = \frac{3,14 \cdot 15^4}{32} = 50625 \text{ см}^4;$$

$$I''_p = \frac{\pi d_2^4}{32} = \frac{3,14 \cdot 12^4}{32} = 20736 \text{ см}^4$$

Енди (2) ға табылған мәніслерди қойсақ

$$\frac{-M_A \cdot 2}{50625} + \frac{M_B \cdot 1}{20736} = 0$$

буннан

$$M_B = 2M_A \frac{20736}{50625} = 0,82M_A$$

$$M_B = 0,82 M_A. \quad (3)$$

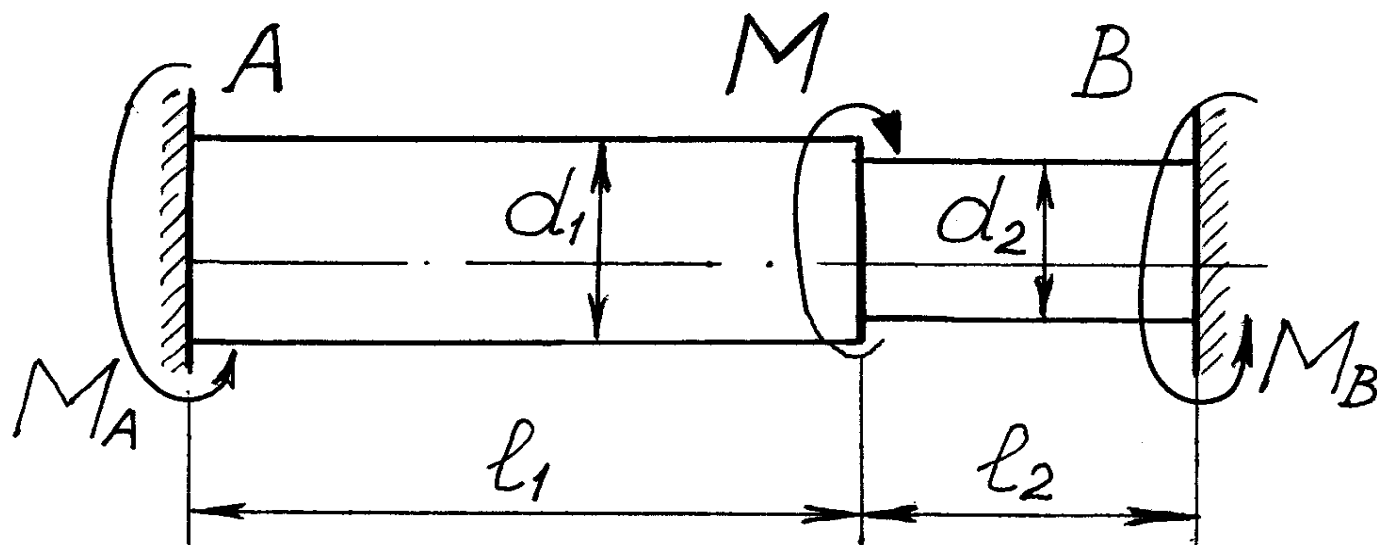
5. Синтез. Теңсалмақлылық (1) хәм деформация (3) теңлемелерин биргеликте шешемиз.

$$M_A = \frac{M}{1 + 0,82} = \frac{40}{1,82} = 21,98 \text{ кНм.}$$

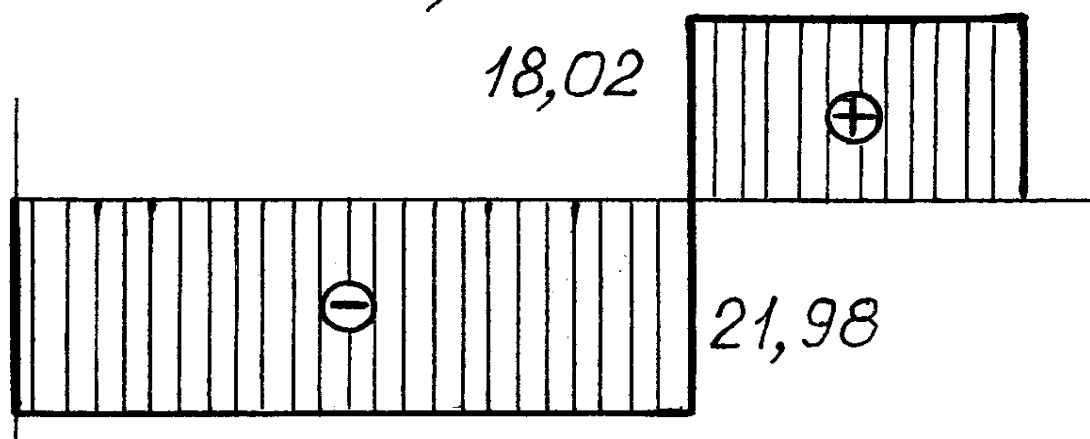
$$M_B = 40 - 21,98 = 18,02 \text{ кНм.}$$

Вал ушын бураўшы моментлер эпюрасын қурамыз.

Кернеўлерди $\tau = \frac{M_\epsilon}{W_p}$ формула бойынша есаплаймыз.



M эл., кНм



7 - сүүрэг

Шеп бөлегіндегі урынба кернеулер

$$\tau' = \frac{M_A}{W'_p} = \frac{21,98}{662,34} \cdot 10^3 = 33,19 \text{ МПа}$$

бул жерде кесімнің полярлық қарсылық моменти

$$W'_p = \frac{\pi d_1^3}{16} = \frac{3,14 \cdot 15^3}{16} = 662,34 \text{ см}^3$$

Оң бөлеги үшін

$$W''_p = \frac{\pi d_2^3}{16} = \frac{3,14 \cdot 12^3}{16} = 339,12 \text{ см}^3$$

Валдың оң бөлегіндегі урынба кернеулер

$$\tau'' = \frac{M_B}{W''_p} = \frac{18,02}{339,12} \cdot 10^3 = 53,14 \text{ МПа}$$

Вал бөлеклеріндегі кернеулерди салыстырамыз:

$$\tau' = 33,19 \text{ МПа} < \tau'' = 53,14 \text{ МПа}$$

Брустың беккемлилиик шәртин тексеремиз

$$\tau_{\max} = 53,14 \text{ МПа} < [\tau] = 60 \text{ МПа}$$

демек, көрилген валдың беккемлилиги тәмийинленген.

Өтилген теманы беккемлеу үшін сораулар

1. Буралыу деформациясы деген не?
2. Дөңгелек кесимли брустың буралыу теориясында қандай әпиұайыластырылыулар қабыл етилген?
3. Буралыуда дөңгелек кесимдеги максимал урынба кернеуди анықлау формуласы қандай?
4. Ықтиярий кесимнің қәлеген точкасындағы урынба кернеулер қалай анықланылады?
5. Кесе кесимнің полярлық қарсылық моменти деген не?
6. Буралыудағы беккемлилик шәрти қандай?
7. Буралыудағы деформация қалай анықланылады?
8. Буралыудағы қаттылық деген не?
9. Буралып атырған валдың қайсы точкасында ең үлкен кернеу тәсир етеди?
10. Морт материаллардан жасалған валлар қандай тегисликлер бойынша бузылады?
11. Ағаш бруслар буралыуда қалай бузылады?