

### 3 Тербеліс кернеуі

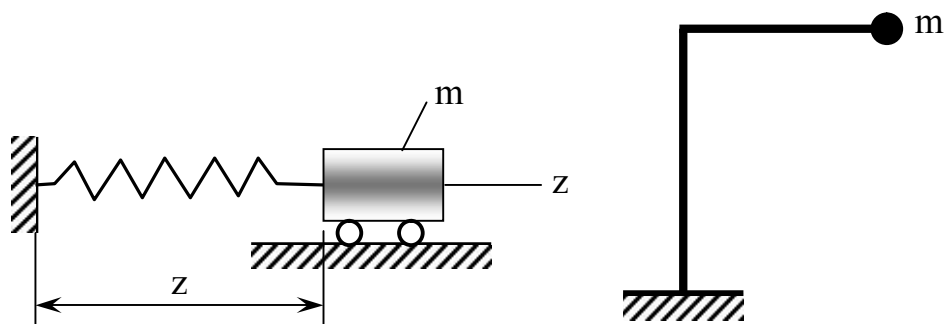
Қазіргі кездегі физиканың үлкен бір бөлімі тербеліс теориясын зерттеуге арналған. Тербеліс теориясы механикада, электртехникада және басқа да салаларда кеңінен қолданылады. Механика саласындағы пәндердің ішінде теориялық механикада біршама толық қарастырылады. Осыған байланысты, материалдар кедергісінде, теориялық механиканың тұжырымдарын кернеулер мен деформацияларды анықтауға және беріктікке есептеуге қолданамыз.

#### 3.1 Тербеліс теориясының негізгі анықтамалары

Серпімді жүйелердің тербелістерін зерттегенде, оларды бір-бірінен еркіндік дәрежесінің саны арқылы айырады.

Жүйенің кеңістіктегі немесе жазықтықтағы орнын анықтайтын тәуелсіз координаталар санын, *еркіндік дәрежесінің саны* дейміз. Мысалы, серіппеге бекітілген қатаң массаның  $m$  (6 а-сурет) еркіндік дәрежесі бірге тең, өйткені оның жазықтықтағы орны бір координата  $z$  арқылы анықталады.

Ал, 6б-суретте көрсетілген массаның еркіндік дәрежесі үшке тең. Бұл массаның жазықтықтағы орны, оның салмақ центрінің координаталарымен және бұрылу бұрышы арқылы табылады. Бұдан басқа, серпімді жүйелер, өздерінің еркін және мәжбүр тербелістері арқылы ажыратылады.



6 – сурет

Серпімді жүйенің сыртқы күштер әсерінен босағаннан кейін, өздігінен өзінің тербелуін *еркін тербеліс* деп атайды. Ал, серпімді жүйенің өзгермелі сыртқы күштердің әсерінен тербелуі *мәжбүр тербеліс* деп аталады. Мұндай күштерді - *ұйтқы күштер* деп атауға болады. Серпімді жүйенің тепе-тендік жағдайынан ауытқыған кезде қатар тұрған ең үлкен ( $max$ ) екі ауытқуларының арасы - *тербелістің периоды* деп аталады. Бұған кері шама, *тербелістің жиілігі* делінеді. Техникада *шеңберлік жиілік* деген де түсінік бар. Егер тербеліс периоды  $T$  әрпімен белгілесек, онда тербелістің жиілігі

$$v = \frac{1}{T} \quad (40)$$

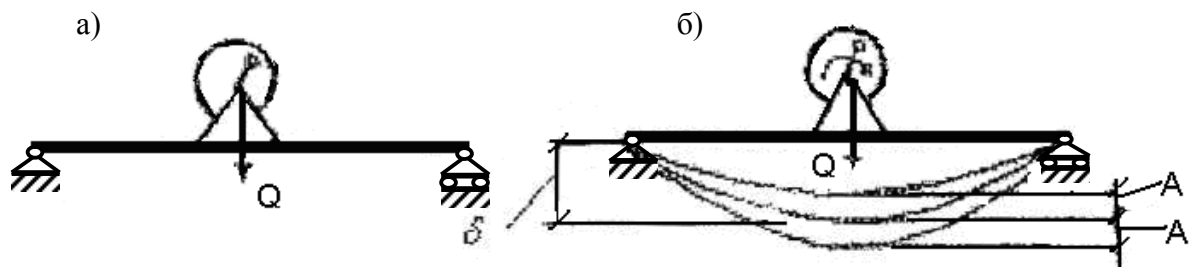
шеңберлік жиілік

$$\omega = 2\pi v = \frac{2\pi}{T}. \quad (41)$$

### 3.2 Тербеліс кернеуін есептеу

Арқалыққа бекітілген қондырғының тербеліс тудыратын элементі болсын (7 а-сурет).

Қондырғының салмағы  $Q$ , одан туындайтын орын ауыстыруды  $\delta_{cm}$  деп белгілейік (17б-сурет). Қондырғыдан туатын тербеліс кезінде, арқалық тепе-теңдік жағдайы маңында тербелісте болады.



7 - сурет

Оның амплитудасы  $A$  болсын. Бұл кезде арқалықтың динамикалық орын ауыстыруы

$$\delta_o = \delta_{cm} \pm A. \quad (42)$$

Арқалық үшін қауіпті жағдай, оның үлкен орын ауыстыруы екені белгілі, сондықтан

$$\delta_o = \delta_{cm} + A. \quad (43)$$

Статикалық орын ауыстыруды жақша сыртына шығарсақ:

$$\delta_o = \delta_{cm} \left( 1 + \frac{A}{\delta_{cm}} \right). \quad (44)$$

Жақшадағы шаманы, тербелістің динамикалық коэффициенті деп қабылдаймыз, сонда:

$$k_o = \left( 1 + \frac{A}{\delta_{cm}} \right). \quad (45)$$

Жүйенің деформациясы серпімді шегінен аспаса, кернеу мен деформация арасында пропорционалдық қатынас болатыны белгілі. Яғни

$$\sigma_o = k_o \cdot \sigma_{cm}; \quad \sigma_o^{max} = k_o \cdot \sigma_{cm}^{max}. \quad (46)$$

Беріктік шарты:

$$\sigma_o^{max} = k_o \cdot \sigma_{cm}^{max} \leq [\sigma]. \quad (47)$$

Сонымен, динамикалық кернеуді табу үшін, алдымен статикалық кернеу есептеледі де, динамикалық коэффициентке көбейтіледі.

Амплитуданы табу үшін, тербеліс өсуінің коэффициентін қолданамыз

$$A = \beta \cdot \delta_n = \frac{1}{\sqrt{\left[ 1 - \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \frac{4 \cdot n_1^2 \cdot \omega^2}{\omega_0^4}}} \cdot \delta_n \quad (48)$$

$$k_o = 1 + \frac{\delta_n}{\delta_{cm}} \cdot \beta \quad (49)$$

Мұндағы  $\delta_n$  - ұйтқу күшінің ең үлкен шамасынан пайда болатын статикалық орын ауыстыру;

$\omega_0$  - серпімді жүйенің еркін тербелісінің жиілігі;

$\omega$  - мәжбүр тербелістің жиілігі;

$\beta$  - тербеліс өсуінің коэффициенті;

$n_1$  - тербеліс өшуінің коэффициенті.

## Бақылау сұрақтары

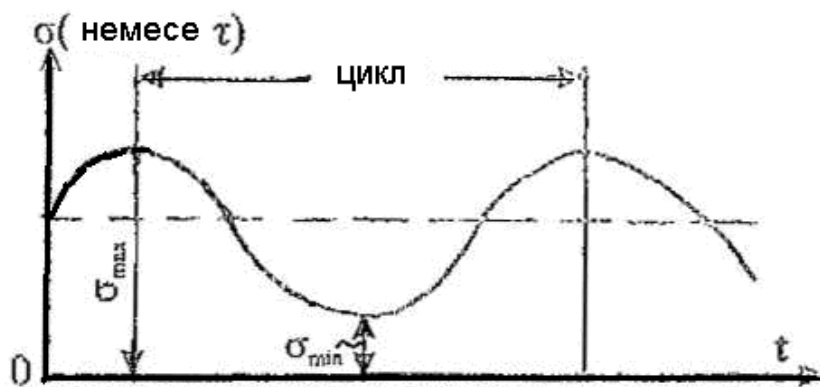
1. Күштердің статикалық, динамикалық түрге бөліну ерекшеліктері қандай?
2. Даламбер принципі нені білдіреді?
3. Таралған инерциялық күштің қарқындылығы қалай табылады?
4. Сырықтар жүйесі бірқалыпты айналғанда центрден тепкіш инерциялық күштің қарқындылығы қалай анықталады?
5. Қандай құбылыс соққы деп аталады?
6. Соққы теориясы қандай гипотезаға негізделген?
7. Соққыдағы динамикалық коэффициент деген не?
8. Күш кенеттен әсер еткенде динамикалық коэффициент неге тең?
9. Соққы әсерінен кернеу мен орын ауыстыру қалай анықталады?
10. Қандай шаралардың негізінде соққы әсері төмендейді?
11. Соққы әсерінен пайда болған кернеу, соғылатын және материалына тәуелді ме?
12. Қандай тербелістер еркін деп аталады?
13. Қандай тербелістер еріксіз деп аталады?
14. Еркін, еріксіз тербелістерде жүйеге қандай күштер әсер етеді?
15. Бір еркіндік дәрежелі жүйе деген не?
16. Жүйенің еркін тербеліс теңдеуін жазыңыз?
17. Еркін тербелістің жиілігі мен периоды деген не?
18. Тербеліс амплитудасы деген не?
19. Еріксіз тербеліс теңдеуін жазыңыз?
20. Еріксіз тербелістің амплитудасы қалай анықталады?
21. Резонанс деген не, не себепті ол қауіпті?
22. Еріксіз тербелісте динамикалық коэффициент қалай табылады?

# МАТЕРИАЛДАРДЫҢ АЙНЫМАЛЫ КҮШКЕ БЕРІКТІГІ

## 1 Циклді күштердің әсері

Көптеген машина бөлшектері қызмет кезіңінде уақытқа тәуелді периодты өзгертетін күштердің әсеріне душар болады. Мұндай динамикалық күштер уақытқа тәуелді айнымалы немесе циклді деп аталады. Циклді күштердің әсерінен құрылым элементтеріндегі тік (жанама) кернеулер ең үлкен мәнінен  $\sigma_{max}$  ең кіші мәніне дейін  $\sigma_{min}$ , одан  $\sigma_{max}$  т.с.с циклді өзгерісте болады.

Кернеудің циклді өзгеруін тік координата жүйесінде график түрінде көрсетеді. Уақытқа тәуелді синусоида заңдылығымен өзгертін кернеудің жеке түрін қарастырайық (1 - сурет).



1 - сурет

Бір периодтағы айнымалы кернеулердің барлық мәндер жиынтығын кернеу циклі деп атайды. Бір секундтағы циклдың ауысуы кернеу өзгерісінің жиілігін білдіреді.

Циклді кернеулер келесі мәндерімен сипатталады:

Ең үлкен, ең кіші кернеулер

$$\sigma_{max}, \sigma_{min} \text{ немесе } \tau_{max}, \tau_{min} \quad (1)$$

Циклдің орта кернеулері

$$\sigma_{op} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad \text{немесе} \quad \tau_{op} = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2} \quad (2)$$

Цикл амплитудасы

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad \text{немесе} \quad \tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2} \quad (3)$$

Ең үлкен кернеу  $\sigma_{max}$ ,  $\tau_{max}$  мен амплитуда коэффициенті немесе цикл асимметриясы

$$r = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad \text{немесе} \quad r = \frac{\tau_{min}}{\tau_{max}} \quad (4)$$

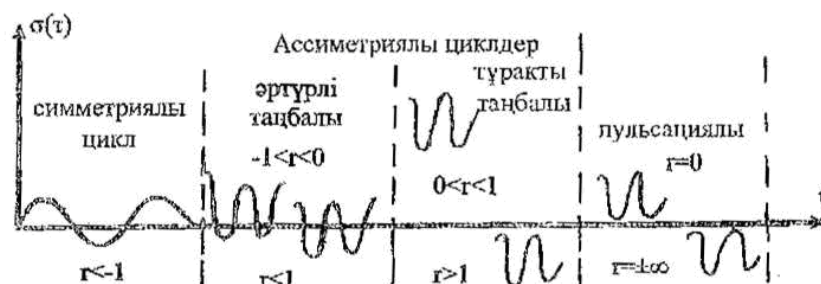
Кейде цикл сипаттамасын қолданған тиімді

$$k = \frac{\sigma_a}{\sigma_{op}} \quad \text{немесе} \quad k = \frac{\tau_a}{\tau_{op}} \quad (5)$$

Цикл сипаттамасы асимметрия коэффициентімен байланысты

$$k = \frac{\sigma_a}{\sigma_{op}} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{\sigma_{max} + \sigma_{min}} = \frac{1 - \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}}{1 + \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}} = \frac{1 - r}{1 + r} \quad (6)$$

Циклді сипаттайтын параметрлерге байланысты  $-\sigma_{max}$ ,  $\sigma_{min}$ ,  $\sigma_{op}$ ,  $\sigma_a$  және  $r$  немесе  $k$  - циклдер әртүрлі атауға ие болады (2- сурет).



11.2 - сурет

$\sigma_{max} = \sigma_{min} = \sigma_a$ ,  $\sigma_{op} = 0$ ,  $r = 1$  циклі симметриялы.  $\sigma_{max}$  және  $\sigma_{min}$  абсолют шамасы бір-біріне тең болмаса, әртүрлі немесе тұрақты таңбалы асимметриялы

цикл, тұрақты таңбалы циклдің және түрлі пульсациялы цикл  $-\sigma_{min}=0, r=0$  немесе  $\sigma_{max}=0, r=\pm\infty$ .

Параметрлері  $r = k$  кернеулер циклі ұқсас деп аталады. Тұрақты орта кернеуге симметриялы циклді беттестіргенде кез-келген айнымалы кернеулі цикл алынады. Ең үлкен, ең кіші кернеуер

$$\sigma_{\frac{max}{min}} = \sigma_{op} \pm \sigma_a \quad \text{немесе} \quad \tau_{\frac{max}{min}} = \tau_{op} \pm \tau_a \quad (7)$$

Құрылым элементтері мен машина бөлшектері циклді күштің ұзақ уақыт әсерінен, статикалық жүктемеде анықталған қирату кернеуінен кем кернеудің өзінде қалдық деформациясы көрінбейтіндей қирауы мүмкін.

Динамикалық айнымалы күштің әсерінен материал беріктігінің төмендеуі шаршау немесе төзімділік деп аталады.

Қирауды алғашқы зерттегенде айнымалы кернеудің ұзақ уақыт әсерінен материал шаршайды, оның құрылысы өзгереді сондықтан статикалық беріктігі төмендейді деген болжамдар айтылған. Ұзақ уақыт циклді күш әсерінде болған үлгіні статикалық созуға сынағанда, оның механикалық қасиеті өзгеріссіз қалғанына көз жетті. Циклді кернеу әсеріндегі материалды зерттегенде оның құрылымында ешқандай өзгеріс болмағаны байқалды.

Айнымалы кернеу белгілі шамадан асқанда, материалда сызат пайда болады. Сызат төңірегінде кернеу шоғырлануынан материал қирайды.

Өсетін сызаттың беті бір-біріне көп рет үйкеліп тегістеледі.

Қирау қимасы теп-тегіс және морт қирауға тән біртегіс емес екі аймақтан тұрады. Сызат шеттері көлемдік кернеулі күйде болғандықтан циклді күш әсерінен пластикалық, морт материалдар морт сынудың негізінде лезде қирайды.

Циклдің ең үлкен кернеуі материалға байланысты шаршау шегі немесе төзімділік шегі деп аталатын кернеуден аспаса, циклді күштің әсерінен материал қирамайды.

Циклдің белгілі ассиметриялық коэффициентінде, шексіз көп циклге шыдайтып кернеудің ең үлкен мәні төзімділік шегі (шаршау) деп аталады. Ассиметрия коэффициентінің мәні арнайы айтылмаса, онда симметриялы цикл қарастырылатындығы белгілі.

Құрылым элементтерін циклді кернеуге есептегенде материал беріктігін сипаттайтын негізгі шама – төзімділік шегі.