Халықаралық білім беру корпорациясы
Жалпы Құрылыс факультеті

ИНЖЕНЕРЛІК МЕХАНИКА II

ДӘРІС №8
ОРЫН АУЫСТЫРУЛАРДЫ АНЫҚТАУ ҮШІН МОР ӘДІСІ

САБАҚ ЖОСПАРЫ

- ❖Сыртқы күштердің жұмысы
- ❖Орын ауыстыру мен жұмыстың байланысы туралы теорема
- ❖Мор формуласының көмегімен орын ауыстыруларды анықтауға мысалдар
- ❖Мор формуласындағы интегралдарды есептеу үшін Верещагиннің графоаналитикалық тәсілі

- Материалдар кедергісі пәнінде арқалықтың деформациясын, иілген осьтің жуықталған дифференциалды теңдеуін интегралдау тәсілі арқылы анықтаған болатынбыз. Бірақ бұл тәсілді тұтас инженерлік құрылымның орын ауыстыруларын анықтауға жарамсыз, немесе күрделі болады. Сондықтан құрылымның деформацияларын анықтауға ыңғайлы, серпімді деформацияланған жүйенің потенциалды энергиясының және сыртқы күштер жұмысының өзгеру заңдылықтарына негізделген энергетикалық тәсіл қолданылады.

Деформацияланған дене белгілі бір шамадағы жұмыс атқара алатыны белгілі, яғни ол дене деформациялану кезінде **потенциалдық энергия** жинақтайды.

- *Демек, дененің деформациялану кезінде жинақтаған потенциалды энергиясы, сол денені деформациялауға кеткен толық энергияның қайтатын бөлігі болып табылады. Сондықтан бұл энергия дененің қайтатын (әсер етуші күшті алып тастағанда жойылып кететін) деформациясымен, яғни серпімді деформациясымен байланыста болады.*

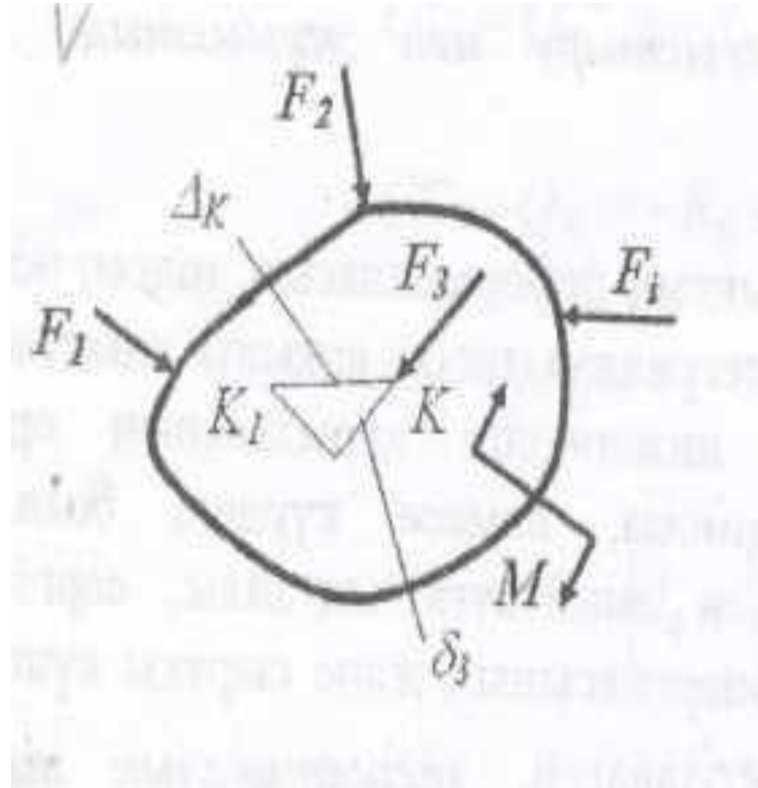
Статикалық жолмен түсірілген сыртқы күштер әсерінен, серпімді деформацияланған денелердің деформациялануға кеткен толық энергиясын, сол дененің жинаған потенциалды энергиясына тең деп есептеуге болады, себебі энергияның жылуға, ішкі үйкеліске және басқа факторлар арқылы қоршаған ортаға тарап кетуі өте аз болады. Дененің деформациялануына кететін толық энергия сыртқы күштердің жасаған жұмысына тең болатыны белгілі. Бұл тұжырым **энергияның сақталу заңы** деп аталады.

- Сондықтан серпімді деформацияланған денелердің жинақтаған потенциалды энергиясы U, сан жағынан, сыртқы күштердің денені деформациялау кезінде жасаған жұмысына A тең болады: U= A.
- Потенциалдық энергия мен жасаған жұмысты тұжырымдау нақты болу үшін **жалпылама күш** және **жалпылама деформация** ұғымдарын енгіземіз.

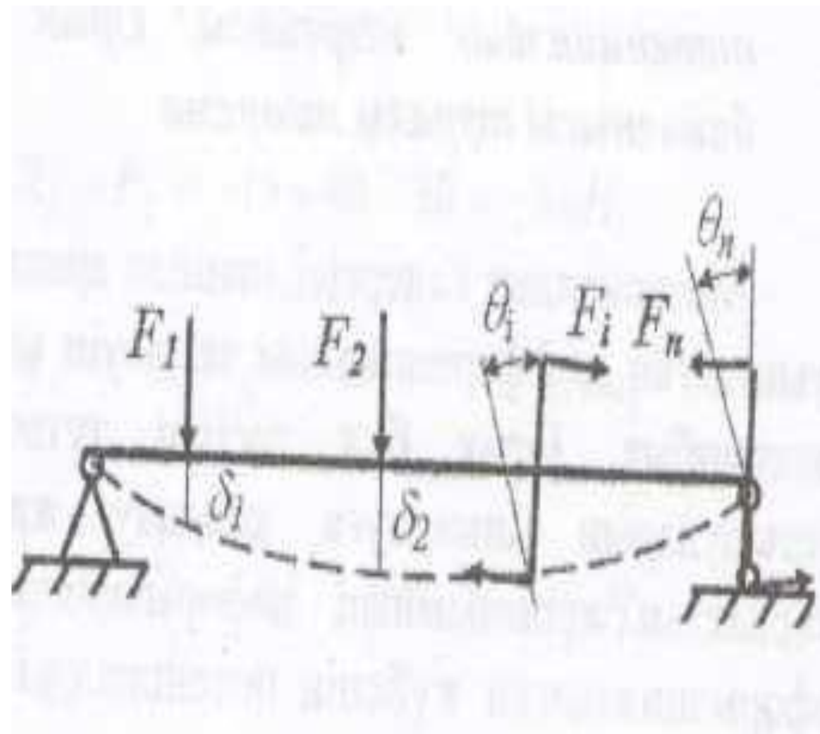
Жалпылама күш жəне **жалпылама деформация**

Жалпылама күш $\boldsymbol{F_i}$ деп денені деформациялайтын кез келген сыртқы күштер жиынтығын, ал жалпылама деформация деп сол күштің жасаған жұмысын анықтау үшін, жалпылама күшті көбейту керек болатын жəне жалпылама күшке сəйкес келетін орын ауыстыруды $\boldsymbol{\delta_i}$ айтады.

Мысалы, F_3 күшіне сәйкес келетін жалпылама деформация (орын ауыстыру) δ_3 К нүктесінің $\Delta_К$ орын ауыстыруының осы күштің бағытына түсірілген проекциясы болып табылады. Жұп күштердің (момент) жалпылама деформациясы болып сол жазықтықта орын алатын бұрыштық орын ауыстыру (бұрыштық деформация) болып табылады.

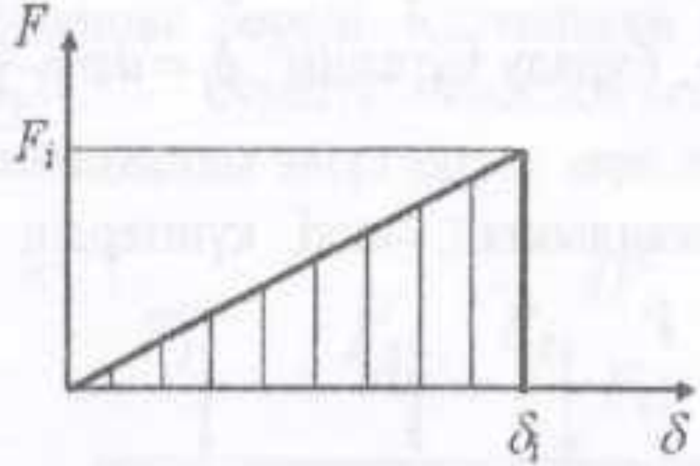


Қадалған күштерге сәйкес келетін жалпылама деформациялар сол күштердің түсірілген нүктесінің иілу мөлшері (майысымы) болса, қадалған июші моменттің жалпылама деформациясы сол қиманың бұрылу бұрышына сәйкес келеді.



Кез келген серпімді (сызықты немесе сызықсыз деформацияланатын) материал үшін оның деформациясының потенциалдық энергиясы денені жүктеу үрдісіне тәуелді болмайды, соның ішінде күштердің түсірілу ретіне де тәуелді емес. Бұл энергияның шамасы тек денеге әсер етуші жалпылама күштер мен оған сәйкес келетін жалпылама деформациялардың мәндеріне байланысты болады деген сөз.

- Сондықтан серпімді дененің деформациясының потенциалдық энергиясын есептегенде, жүктелуді қарапайым жүктелу деп қарастыруға болады, яғни жалпылама күштер жүктелу барысында тек бір параметрге (мысалы уақытқа) пропорционал өзгереді делінеді. Олай болса, күшінің әсерінен жинақталатын дененің сызықты серпімді деформациясының потенциалдық энергиясын $\mathrm{A}_i = \frac{F_i \cdot \delta_i}{2}$ түрінде, суреттегі штрихталған үшбұрыштың ауданы ретінде анықтауға болады.



F
F_i
δ_i
δ

- $A_i = \frac{F_i \cdot \delta_i}{2}$ өрнегі француз ғалымы (1799-1864) Клапейрон теоремасын тұжырымдайды: ***Сыртқы күштердің нақты жұмысы - күштің күш түскен нүктенің күш бағытындағы орын ауыстыруына көбейтіндісінің жартысына тең.***

- Денеге әсер ететін *n* күштердің жұмысы әрбір жекелеген күштің өзіне сәйкес деформацияда жасаған жұмыстарының қосындысына тең болады. Ол, алдында айтқандай, потенциалдық энергияға тең. Сонымен, ***Сызықты серпімді деформацияланатын дененің статикалық жүктелуі кезіндегі потенциалдық энергиясы жалпылама күштер мен оған сәйкес келетін жалпылама деформациялардың көбейтіндісінің жартысына тең.***

- Жалпылама күштер мен оған сәйкес келетін жалпылама деформациялар әр түрлі деформация түріне байланысты келесі өрнектермен анықталатыны бұрыннан белгілі:

бойлық деформация $\delta_i = \Delta l = \frac{Ndx}{EA}$,

бұрылу бұрышы $\delta_i = d\theta = \frac{Mdx}{EI}$,

бұралу бұрышы $\delta_i = d\varphi = \frac{T}{GI_k}$,

ығысу деформациясы $\delta_i = \Delta a = k\frac{Qdx}{GA}$

- k – көлденең күштің әсерінен қимада туындайтын жанама кернеулердің әркелкі таралуын ескеретін коэффициенттер, олар қиманың пішіні мен өлшемдеріне ғана тәуелді.
- $k_z = \frac{A}{I_z} \int_A \frac{S^2(y)dz}{b(y)}$

Әрқайсысының элементар жұмысын тауып, барлығын қосып, dA өрнегін әрбір аралықтың ұзындығы ℓ деңгейінде интегралдап, арқалықтың барлық аралықтары бойынша қосындысын анықтап, Клапейрон теоремасын қолданып, кеңістік есеп үшін тауып, оданжазықтық есебіне өтіп, потенциалдық энергияны жазамыз:

$$U = \sum \int \frac{M^2 dx}{2EI} + \sum \int \frac{N^2 dx}{2EA} + \sum \int k \frac{Q^2 dx}{2GA}$$

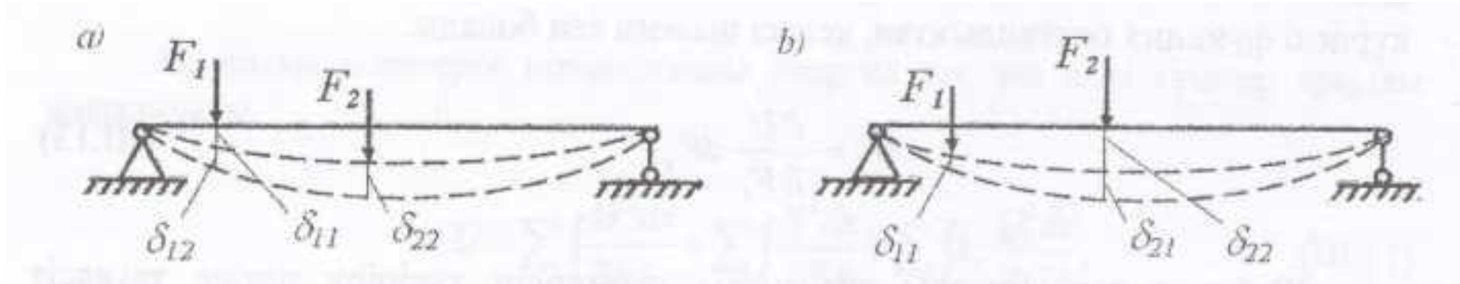
Кастильяно теоремасы

- **Серпімді деформацияланған жүйенің потенциалдық энергиясынан жалпылама күш арқылы алынған дербес туындысы, сол күшке сәйкес келетін жалпылама деформацияға (орын ауысты руға) тең болады:** $\delta_i = \dfrac{\partial U}{\partial F_i}$.
- Итальяндық инженер (1847-1884)
- Өрнектен алынатын қорытынды оң таңбалы болса, жалпылама орын ауыстырудың бағыты жалпылама күшке бағыттас, ал теріс таңбалы болса, кері бағытталған болып табылады.

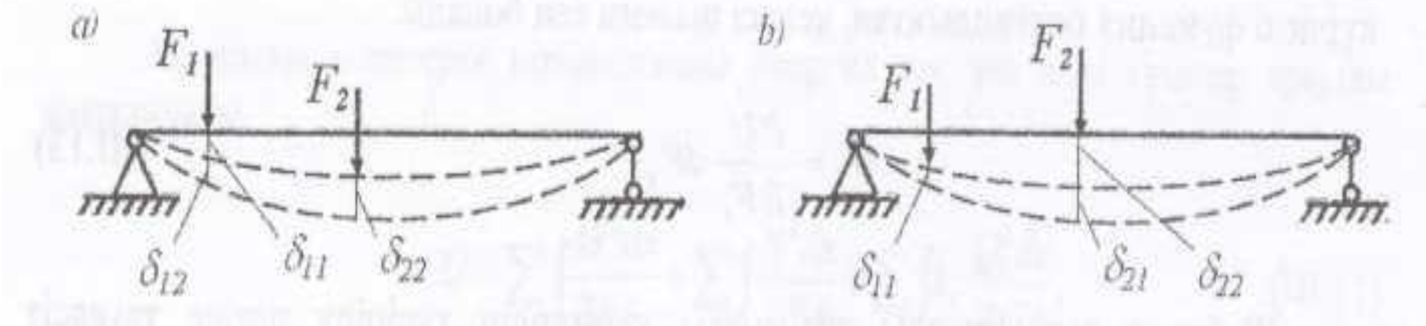
- Кастильяно теоремасын қолдану, жүйенің деформациясының потенциалдық энергиясын пайдаланып, жүйенің кез келген нүктесінің (қимасының) кез келген бағыттағы орын ауыстыру деформациясын анықтауға мүмкіндік береді.

Орын ауыстыру мен жұмыстың байланысы туралы теорема

- Жүйеге екі F_1 және F_2 күштері әсер етеді. Күштер статикалық жолмен түсіріледі. Күш әсерінің тәуелсіздік принципін пайдаланып, арқалықты екі түрлі тәсілмен жүктейік. Алдымен F_1, сосын F_2. Және керісінше:
- $A_{12} = \frac{1}{2} F_1 \cdot \delta_{11} + \frac{1}{2} F_2 \cdot \delta_{22} + F_1 \cdot \delta_{12.}$
- $A_{21} = \frac{1}{2} F_1 \cdot \delta_{11} + \frac{1}{2} F_2 \cdot \delta_{22} + F_2 \cdot \delta_{21}$



- Мұндағы орын ауыстырулар екі индекспен белгіленген, оның бірінші индексі деформация анықталатын нүктедегі күштің бағыты мен номері, ал екінші индексі осы деформация нөмірі қандай күштің әсерінен болғанын көрсетеді.Мысалы, δ_{11} бұл орын ауыстыру нөмірі бірінші күштің бағыты мен сол күштің әсерінен болған деформация.



- Арқалықтың деформациялануы кезіндегі күштердің жұмысының толық мәні ол күштерді қандай ретпен түсіргенге тәуелсіз болғандықтан және $A_{12} = A_{21}$ мәндерінің теңдігінен шығады: $\boldsymbol{F_1 \cdot \delta_{12} = F_2 \cdot \delta_{21}}$
- Бұл теңдік күштер атқарған жұмыстың өзаралығы деп аталады. Бұл теңдік күштер жүйесі үшін де орындалады.

Жұмыстың өзаралығы туралы теорема (Бетти теоремасы)

- Бірінші жалпылама күштер жүйесінің, сол жүйедегі күштердің түсірілген нүктелерінің екінші жалпылама күштер жүйесінің әсерінен орын ауыстыруларындағы жасаған жұмысы, екінші жүйедегі күштердің сол күштер түсірілген нүктелердің, бірінші жүйедегі күштер әсерінен болған орын ауыстыруларында жасаған жұмысына тең.

Орын ауыстырулардың өзаралығы туралы теорема (Максвел теоремасы немесе принципі)

- $F_1 \cdot \delta_{12} = F_2 \cdot \delta_{21}$шығады
- $F_1 = F_2$ немесе $F_1 = 1, F_2 = 2$ болса, онда орын ауыстырулардың өзаралығы туралы теореманы аламыз: $\boldsymbol{\delta_{12} = \delta_{21}}$.
- Серпімді жүйенің екі бірлік күйі үшін екінші бірлік күш әсерінен бірінші бірлік күш бағытында туындаған орын ауыстыру бірінші бірлік күштің екінші бірлік күш бағытында туындататын орын ауыстыруына тең.

Құрылыс механикасында орын ауыстыруды белгілеу

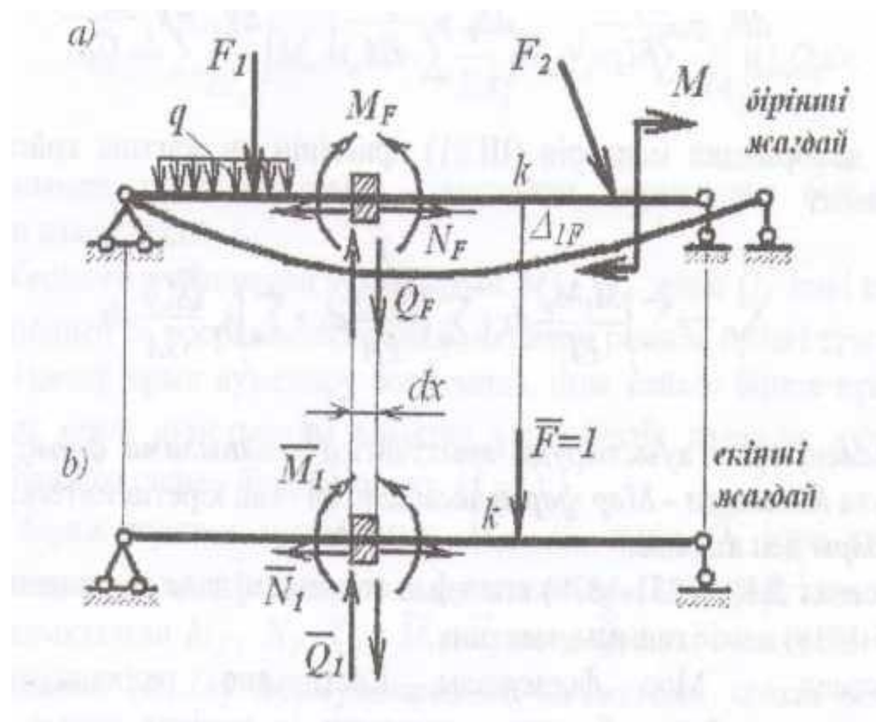
Құрылыс механикасында орын ауыстыруларды күш әсеріне байланысты былайша белгілеу қабылданған: $\mathbf{\Delta_{kp}}$- негізінен сыртқы күштердің әсерінен туындайтын орын ауыстыруларды белгілейді.Оны былайша түсіну қажет: р күшінің әсерінен k күшінің бағытында туындаған орын ауыстыру, яғни бірінші индекс орын ауыстырудың бағытын, ал екіншісі осыны туындататын күш әсерін көрсетеді; $\mathbf{\delta_{mn}}$ – m күшінің бағытында n бірлік күші әсерінен туындаған орын ауыстыру. Егерде төменгі индекстері бірдей болса, мысалы Δ_{kk} немесе δ_{mm}, сәйкес күштердің әсерінен, сол күштердің бағытында туындайтын орын ауыстырулар.

Мор интегралы

- Орын ауыстыруларды Кастильяно теоремасы бойынша анықтаудың негізгі кемшілігі бар: тек жалпылама күш түскен қиманың сол күштің бағытындағы орын ауыстыруын анықтауға болады. Ал, іс жүзінде кез келген стерженьдік жүйедегі кез келген күштен және кез келген бағыт бойынша туындайтын орын ауыстыруды анықтаудың маңызы зор. Кез келген жүйенің екі жағдайы қарастырылады. Бірінші жағдайда берілген жүйеге қандай-да бір сыртқы күштер мен моменттер кез келген бағытта әсер етсін. Екінші жағдайда, ізденді орын ауыстыру бағытында, жүйеге тек шамасы бірге тең бірлік күш $\bar{F} = 1$ түсірілген.

Сызықтық орын ауыстыруды анықтау үшін бірлік қадалған күш $\overline{F} = 1$, ал бұрылу бұрышы үшін – бірлік момент $\overline{M} = 1$ түсіріледі.

Құрылымның бірлік күш әсерінен туындаған жағдайын бірлік күй, бірлік жағдай немесе жалған күй деп аталады. Мұнан ерекше, берілген жүктеме әсерінен туындайтын жағдайды нақты немесе жүктеме күй (жүктеме жағдай) деп атайды.



Максвелл Д.К. (1831-1879) ағылшын ғалымы, физик және механик; Мор Х.О. (1835-1918) неміс ғалымы, механик.

- Түрлендірулерден кейін (Кастильяно теоремасын U-дың өрнегіне пайдаланып және жұмыстың өзаралығы туралы теорема бойынша), орын ауыстыруды анықтайтын жалпылама формула аламыз. Бұл формула **Максвелл-Мор формуласы** деп, ал оған кіретін интегралдар **Мор интегралдары** деп аталады.

Максвелл-Мор формуласы

$$\dot{\Delta}_{1F} = \sum \int \frac{\bar{\mathrm{M}}_1 \boldsymbol{M_F}}{EI} dx + \sum \int \frac{\bar{\boldsymbol{N}}_1 \boldsymbol{N_F}}{EA} dx + \sum \int k \frac{\bar{\boldsymbol{Q}}_1 \boldsymbol{Q_F}}{GA} dx$$

Кез келген орын ауыстыруды анықтау оң жақтағы анықталған интегралды есептеуге келтіріледі, яғни бірлік күйдің ішкі күштерінің жүктеме күйдегі орын ауыстыруда жасалуы мүмкін жұмыстарын есептеуге келтіріледі.

Қайталау

- Қарапайым созылу деформациясында сырықтың потенциалдық энергиясы $U = \frac{N^2 l}{2EA}$. Осыдан бойлық күш бойынша дербес туынды алсақ: $\frac{\partial U}{\partial N} = \frac{Nl}{EA} = \Delta l$.
- Иілу деформациясы үшін потенциалдық энергия $U = \int_l \frac{M^2 dx}{2EI}$. Егер интегралдың шектері тұрақты болса, қиманың орын ауыстыруы мен бұрылу бұрышы табылады: $y_i = \frac{\partial U}{\partial F_i} = \int \frac{M}{EI} \cdot \frac{\partial M}{\partial F_i}\, dx$, $\quad \theta_i = \frac{\partial U}{\partial M_i} = \int \frac{M}{EI} \cdot \frac{\partial M}{\partial M_i}\, dx$.

Орын ауыстыру анықталған формулалар бойынша келесі тәртіппен анықталады:

- 1) берілген жүктемеден туындайтын M_F, N_F және Q_F ішкі күштерін кез келген қиманың x координатасының функциясы ретінде өрнегі тұрғызылады;
- 2) ізденді орын ауыстыру бағытында, оған сәйкес бірлік күш түсіріледі (сызықтық орын ауыстыруды анықтау үшін бірлік қадалған күш $\bar{F} = 1$, ал бұрылу бұрышы үшін – бірлік момент $\bar{M} = 1$ түсіріледі);
- 3) бірлік күштен туындайтын M_1, N_1 және Q_1 ішкі күштерін кез келген қиманың x координатасының функциясы ретінде өрнегі анықталады;
- 4) анықталған ішкі күштерін формулаға қойып, әрбір аралық бойынша интегралдап, ізденді орын ауыстыруды табады.

Орын ауыстыруды анықтау техникасы

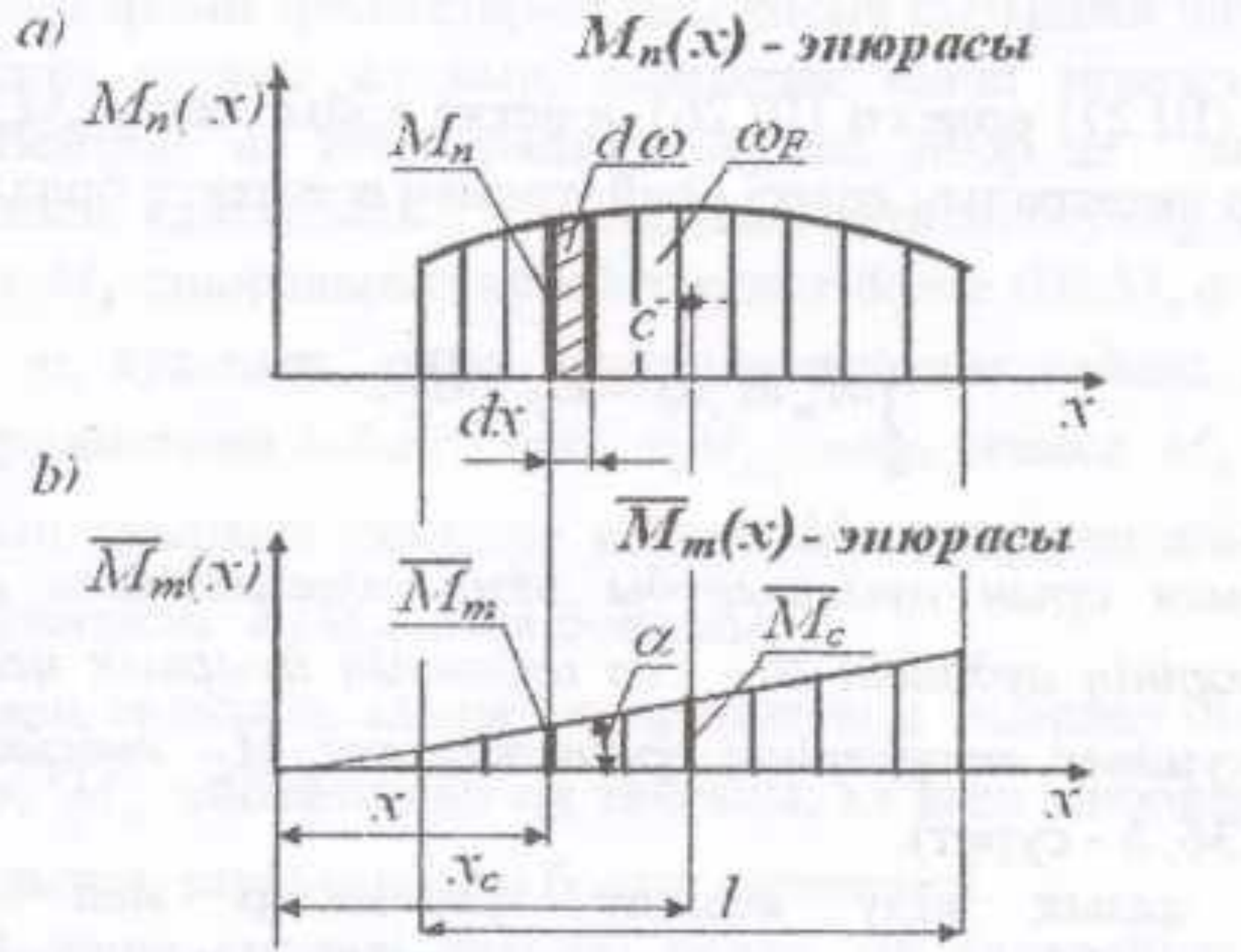
- Конструкциялық құрылымдарда туындайтын орын ауыстыруды Мор интегралының көмегімен анықтаған кезде интеграл астындағы функциялардың аналитикалық өрнектерін тұрғызу қажет.

Верещагин ережесі

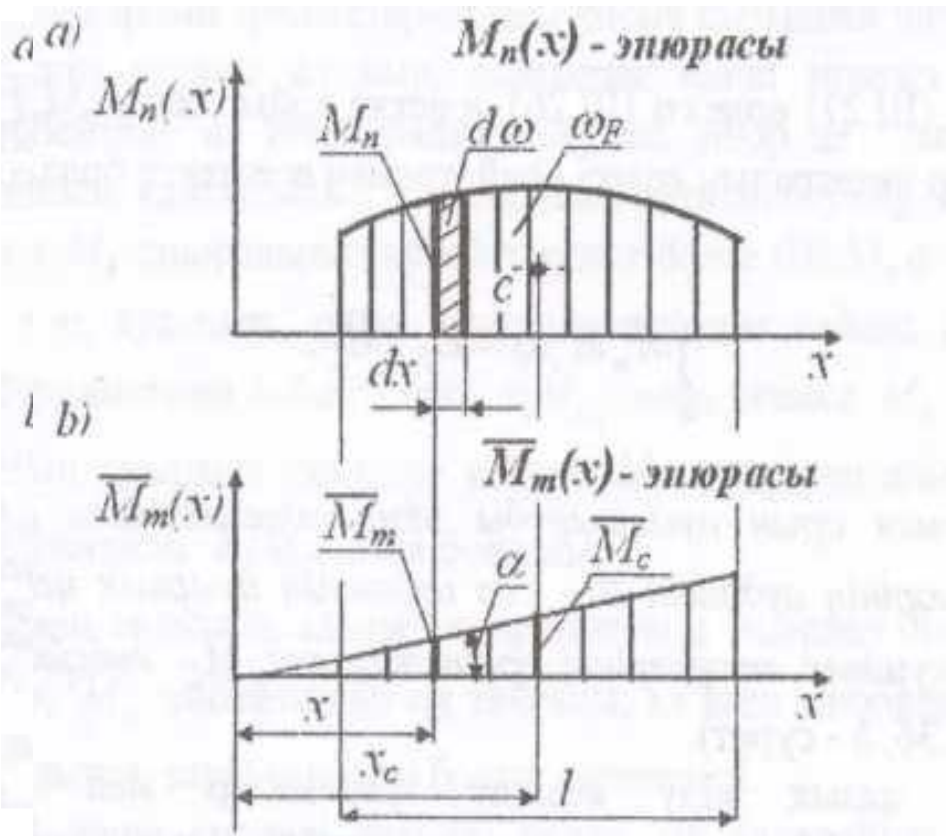
- Егер сыртқы күш әсерлерінің июші моментінің аналитикалық теңдеуі күрделі болса және аралықтардың қатаңдығы айнымалы шама болса, онда интегралды есептеу қиынға соғады. Сондықтан егер ішкі күш факторларының біреуінің аналитикалық теңдеуі түзу сызықты болса және алынған аралық шегінде элементтердің өсі түзу және қатаңдығы тұрақты болып келсе, Мор интегралын есептеудің арнаулы тәсілін қолданып, оңайлатуға болады.

- **Бұл шарт элементтері түзу сызықты болып келетін арқалықтарға, рамаларға және көптіректі ішкі топсасы бар арқалықтарға әрқашан жарамды, өйткені шамасы бірге тең жалпылама күштердің (момент пен қадалған күш) эпюрлері әрқашан түзу сызықты болатыны белгілі.**

- Мысал ретінде суретте көрсетілген сыртқы күштерден туындайтын ішкі күш факторының қисық сызықты эпюрін (a) және бірге тең жалпылама күшінің әсерінен туындайтын ішкі күш факторының түзу сызықты эпюрін (b) қарастырайық. Енді $\int_0^l \overline{M_m}\ \ M_n\,\mathrm{dx}$ интегралын есептейік. Мұндағы, M_n - сыртқы күштердің әсерінен кез келген қимада туындайтын июші момент, $\overline{M_m}$ - бірлік күштің әсерінен сол қимада пайда болатын бірлік июші момент. $M_n dx$ көбейтіндісін M_n жүктеме эпюрінің ω_F ауданының шексіз кіші алаңшасының (штрихталған) ауданы $d\omega$ деп қабылдауға болады.


a)
$M_n(x)$ - эпюрасы
$M_n(x)$
M_n
$d\omega$
ω_F
C
x
dx
b)
$\overline{M}_m(x)$ - эпюрасы
$\overline{M}_m(x)$
$\overline{M}_m$
α
$\overline{M}_c$
x
x
x_c
l

Орын ауыстыруды Мор интегралымен есептеуді, сыртқы күштер эпюрінің ауданын ω_F сол ауданның ауырлық центрінің тұсындағы бірге тең күштер эпюрлерінің ординатасына $\overline{M}_C$ көбейтумен алмастыруға болады.

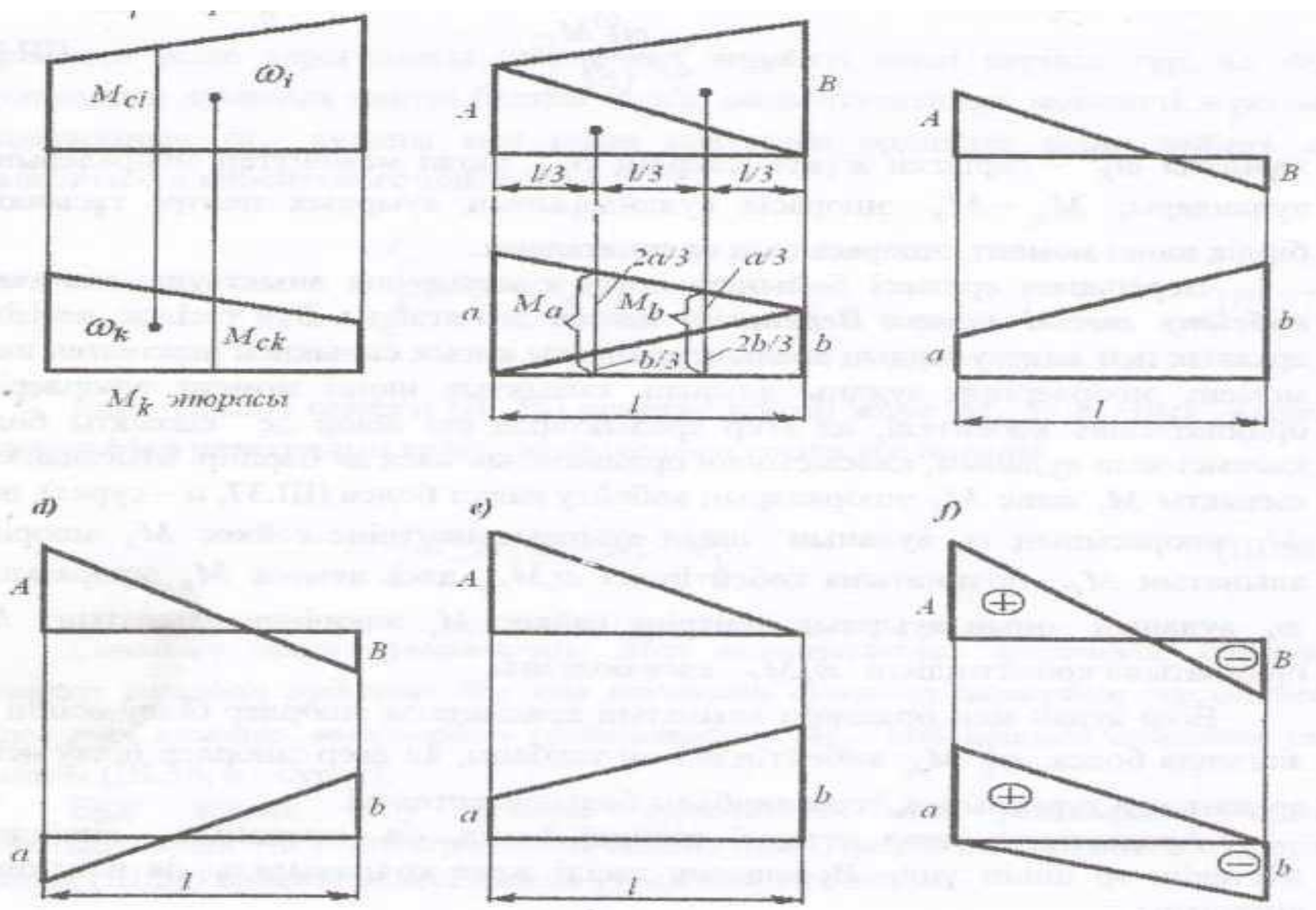


$$\Delta_F = \frac{\omega_F \cdot \overline{M}_C}{EI}$$

$$\Delta_F = \sum_i \frac{\omega_F \cdot \overline{M}_C}{EI}$$

Верещагин тәсілі немесе эпюрлерді көбейту тәсілі

Бұл тәсілде, негізінен арқалық пен жақтаулардың аралықтарындағы қисық сызықпен шектелген июші момент эпюрлерінің ауданы алынып, сызықтық июші момент эпюрлерінің ординатасына көбейтеді, ал егер аралықтарда екі эпюр де сызықты болса, қайсысының ауданын, қайсысының ординатасын алса да бәрібір. Егер аудан мен ордината алынатын аралықтағы эпюрлер білеу осінің бір жағында болса, көбейтінді оң таңбалы, әр жағында болса, - теріс



ω_i
M_{ci}
ω_k
M_{ck}
M_k эпюрасы
A
B
l/3
2a/3
a/3
M_a
M_b
b/3
2b/3
a
b
l
d)
e)
f)

Аралықтағы эпюра күрделі пішінді болса, ол қарапайым пішіндерге жіктеліп, әр пішін үшін Верещагин тәсілі жеке қолданылады да, нәтижелері қосылады.

- Трапеция пішінді екі эпюра көбейтілген жағдайда, олардың бірінің ауырлық центрін анықтаудың қажеті жоқ. Осы эпюрлердің бірін екі үшбұрышқа бөліп, олардың аудандарын екінші эпюрден алынған, үшбұрыштардың ауырлық центрлеріне сәйкес келетін, ординаталарға көбейтсе болғаны. b-суретте келтірілген жағдай үшін:

Трапеция ережесі

- $\omega \cdot M_C = \frac{A\cdot\ell}{2} \cdot M_A + \frac{B\cdot\ell}{2} \cdot M_B = \frac{A\cdot\ell}{2}\left(\frac{2a}{3} + \frac{b}{3}\right) + \frac{B\cdot\ell}{2}\left(\frac{a}{3} + \frac{2b}{3}\right)$

немесе

$$\omega \cdot M_C = \frac{\ell}{6}(2Aa + 2Bb + Ab + Ba).$$

Бұл формуланы эпюрлерді көбейтудің **трапеция ережесі** деп атайды.

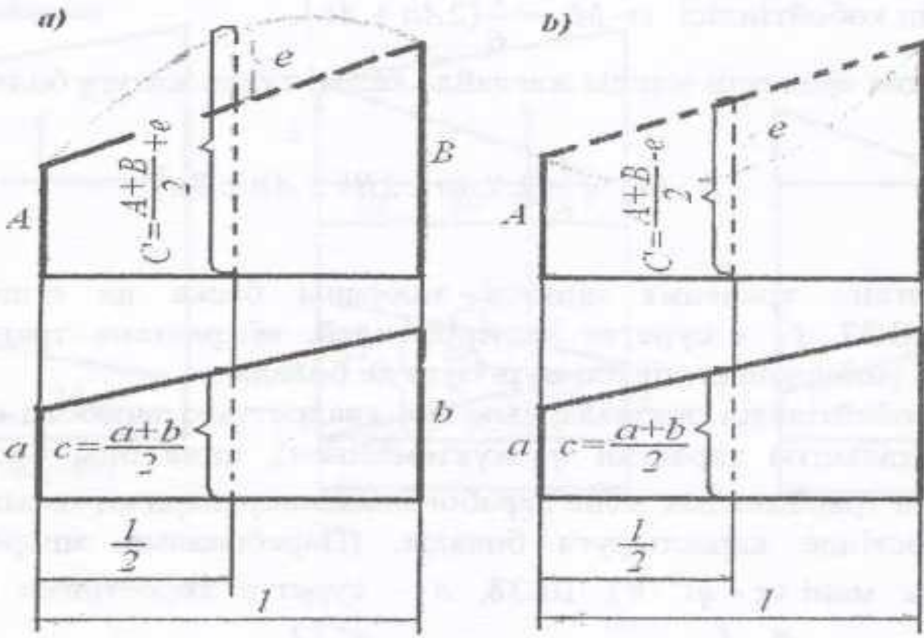
Осы формуланы «бұралған» трапеция пішінді эпюрлерді көбейтуге қолдануға болады, бұл жағдайда таңбалары бірдей ординаталардың көбейтіндісі оң, ал таңбалары әртүрлі ординаталардың көбейтіндісі теріс таңбамен алынады.

- Мысалы, с-суретте келтірілген жағдайдың эпюрлерінің көбейтіндісі:
- $\omega \cdot \mathrm{M}_C = \frac{\ell}{6}$ (2Aa - 2Bb + Ab - Ba).
- $\Delta_F = \frac{\boldsymbol{\omega_F \cdot \overline{M}_C}}{EI}$ формуласы көбейтілетін эпюрлердің бірі үшбұрыш немесе екеуі де үшбұрыш болған жағдайда да эпюрлерді көбейтуге қолдануға болады. Бұл жағдайда үшбұрышты бір ұшының ординатасы нөлге тең трапеция деп қарастыруға болады.

- Мысалы, е-суретте келтірілген жағдай үшін эпюрлердің көбейтіндісі:
- $\omega \cdot \mathrm{M}_C = \frac{\ell}{6}(2Aa + Ab).$
- Трапеция ережесін жалпы жағдайда былай жазуға болады:
- $\omega \cdot \mathrm{M}_C = \frac{\ell}{6}(\pm 2Aa \pm 2Bb \pm Ab \pm Ba).$
- «Бұралған» трапеция пішінді эпюрді басқа да пішінді эпюрге көбейтуді f-суретте келтірілгендей, «бұралған» трапеция пішінді эпюрді екі үшбұрышқа жіктеп жүргізуге де болады.

Симпсон ережесі

$$\omega \cdot M_C = \frac{l}{6}\left(\pm Aa \pm 4Cc \pm Bb\right). \qquad \text{(III.34)}$$

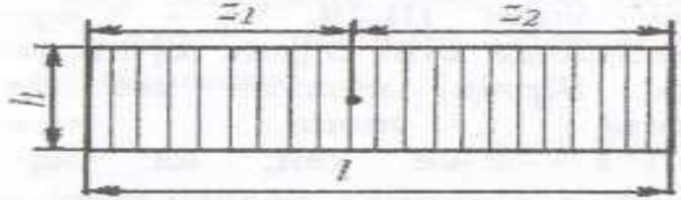
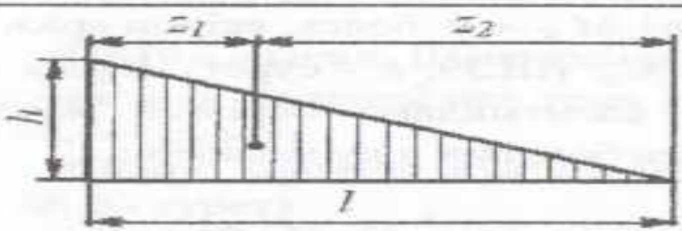
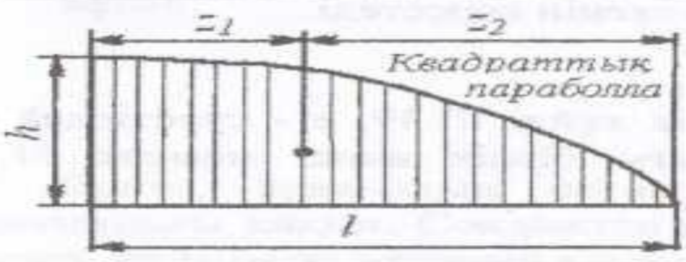


- Егер көбейтілетін эпюрлердің бірі квадраттық параболамен шектелген болса (бірқалыпты таралған q жүктемесінен), онда оны басқа эпюрмен көбейту үшін трапециялық және параболалық эпюрлердің қосындысы немесе айырымы ретінде қарастыруға болады (параболалық эпюрдің аралық ортасындағы мәні: $e = ql^2/8$) . а-суретте көрсетілген эпюрлердің көбейтіндісі $\omega \cdot \mathrm{M_C} = \frac{\ell}{6}$ (2Aa + 2Bb + Ab + Ba) + $\frac{2}{3} elc$. Бұл өрнекке $e = C - \frac{A+B}{2}$ және с= $\frac{a+b}{2}$ шамаларын қойып, ықшамдасақ, мына формуланы аламыз:

Симпсон формуласы

- $\omega \cdot \mathrm{M_C} = \frac{\ell}{6}$(Aa + 4Cc + Bb).
- b-суретте көрсетілген эпюрлердің көбейтіндісі: $\omega \cdot \mathrm{M_C} = \frac{\ell}{6}$(2Aa + 2Bb + Ab + Ba) - $\frac{2}{3}elc$.
- Бұл өрнекке $e = \frac{A+B}{2}$ - C және c= $\frac{a+b}{2}$ шамаларын қойсақ, жоғарыдағы өрнекті аламыз. Бұл формуланы эпюрлерді көбейтудің **Симпсон ережесі** деп атайды, ол жалпы жағдайда былай жазылады: $\omega \cdot \mathrm{M_C} = \frac{\ell}{6}(\pm\mathrm{Aa} \pm 4\mathrm{Cc} \pm \mathrm{Bb})$.

- Верещагин тәсілін қолданып есептер шығарғанда әртүрлі пішінді эпюрлердің аудандарын есептеп және олардың ауырлық центрлерін анықтауға тура келеді. Сондықтан келесі кестеде жиі кездесетін қарапайым геометриялық пішіндердің аудандары мен ауырлық центрлерінің мәндерін анықтайтын өрнектер келтірілген.

Геометриялық фигура	Ауданы, ω	Ауырлық центрінің координаттары	
		z_1	z_2
	hl	$l/2$	$l/2$
	$hl/2$	$l/3$	$2l/3$
	$hl/3$	$l/4$	$3l/4$
	$2hl/3$	$3l/8$	$5l/8$

Глоссарий

Қазақша	Орысша	Ағылшынша
Сыртқы күштердің жұмысы	Работа внешних сил	
Орын ауыстыру	Перемещение	
Энергияның сақталу заңы	Закон сохранения энергии	
Жалпылама күш	Обобщенная сила	
Жалпылама деформация		
Жұмыстың өзаралығы	Взаимность работ	
Орын ауыстырулардың өзаралығы	Взаимность перемещений	
Бірлік күй (жалған күй)	Единичное (вспомогательное) состояние	
Жүктеме күй (жүктеме жағдай)	Грузовое (действительное)	