СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY

ПӘН: PHY1071 ҚОЛДАНБАЛЫ МЕХАНИКА

ДӘРІС № 4

КҮШТЕРДІҢ ЖАЗЫҚ ЖҮЙЕСІ

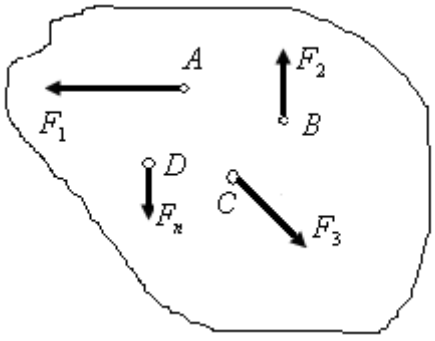
Преподаватель: ***Бейсебаева Айгуль Самсалиевна***
Контакты: 8-776-388-14-45, a.s.beysebayeva@satbayev.university

4-тарау. КҮШТЕРДІҢ ЖАЗЫҚ ЖҮЙЕСІ

Берілген қатты денеге әсер ететін күштердің барлығы да бір жазықтықта орналасып, кез келген тәртіппен бағытталған болсын. Онда мұндай күштер жиынын – күштердің кез келген жазық жүйесі деп атаймыз. Күштердің кез келген жазық жүйесінің дербес түрлері: бір нүктеге түсірілген күштердің жазық жүйесі; түйіскен күштердің және параллель күштердің жазық жүйесі.

§1. Күштердің жазық жүйесін берілген центрге (орталыққа) келтіру

Берілген қатты денеге кез келген тәртіппен бағытталған күштер жүйесі әсер етіп тұрсын (*34-сурет*).



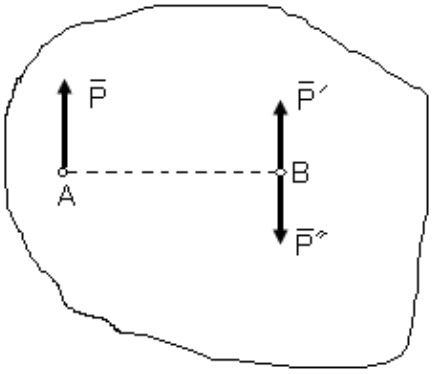
34-сурет

Бұл күштерді, әдеттегідей, алдымен екі күшті (F_1, F_2) өзара қосып, содан кейін олардың тең әсер күшіне үшінші күшті қосуға болады. Осылайша барлық күштерді ($F_1, F_2, F_3, \cdots, F_n$) бір-бірімен қосып шығуға болар еді. Бірақ бұл тәсіл, күштер саны көп болғанда өте қолайсыз келеді. Сондықтан күштер саны көп болғанда басқа тәсіл қолданылады. Ол тәсілді француз ғалымы Пуансо (математик, механик) ұсынған еді. Бұл тәсіл келесі леммаға негізделген.

Лемма. *Қатты дененің кез келген нүктесінде* (*мысалы, A нүктесінде*) *әсер етіп тұрған берілген күшті* ($\overline{P}$ *күшін*), *осы дененің басқа бір нүктесіне* (B) *өзін-өзіне параллель алып баруға болады. Бұл кезде, ол нүктеде* (B) *берілген күшке тең* ($\overline{P}' = \overline{P}$) $\overline{P}'$ *күші және қос күш жұбы әсер етеді. Бұл жұптың* (*қос күштің*) *моменті A нүктесіндегі* $\overline{P}$ *күшінің B центріне қатысты алынған алгебралық моментіне тең болады*.

Дәлелдеу. Дененің A нүктесінде $\overline{P}$ күші әсер етіп тұрсын. Осы дененің B нүктесіне шамалары берілген күшке тең және сол күшке параллель түзу бойымен қарама-қарсы бағытталған $\overline{P}'$ және $\overline{P}''$ күштерін түсірейік (*35-сурет*).

САТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY



35-сурет

Жоғарыдағы шарт бойынша:

$$\bar{P} = \bar{P}' = -\bar{P}'' \text{ және } (\bar{P}', \bar{P}'') \sim 0.$$

Нөлге эквивалент екі күштің көрсетілген жүйесін берілген күшке қосып, күштердің жаңа жүйесін аламыз:

$$\bar{P} \sim (\bar{P}, \bar{P}', \bar{P}'').$$

Алынған жүйені басқаша жазуға, атап айтқанда екіге ажыратып жазуға болады:

$$(\bar{P}, \bar{P}', \bar{P}'') \sim (\bar{P}' \text{ және } (\bar{P}, \bar{P}'')).$$

Соңғы өрнектің сол жағындағы мүше берілген $\bar{P}$ күшіне тең, сондықтан:

$$(\bar{P}) \sim (\bar{P}' \text{ және } (\bar{P}, \bar{P}'')).$$

Осы дәлелденген леммадан, берілген күшті қос күш жұбын қосу арқылы кез келген нүктеге өзін-өзіне параллель көшіре беруге болатынын көреміз.

Бұл іс-әрекет күшті *берілген центрге келтіру* деп аталады. Ал ол нүкте *келтіру центрі* деп аталады.

Пуансо теоремасы. Қатты денеге әсер етуші күштердің жазық жүйесі, жалпылама алғанда, осы күштердің геометриялық жиынына тең, аталған күштердің әсер ету жазықтығының кез келген бір O нүктесіне түсірілген жалғыз күшке және алгебралық моменті әсер етуші күштердің O нүктесі арқылы алынған моменттердің жиынына тең қос күшке эквивалент болады.

Дәлелдеу. Қатты денеге күштердің жазық жүйесі $\{F_1, F_2, \cdots, F_n\}$ әсер етіп тұрсын. Барлық күштерді осы күштердің әсер ету жазықтығындағы кез келген O нүктесіне көшірейік, әрине, бұл кезде әр күшке сәйкес жұптар қосылып отырады. Сонымен:

а) F_1', F_2',..., F_n' күштерінен тұратын, берілген күштерге геометриялық тұрғыдан тең және O нүктесіне түсірілген күштердің жаңа жүйесін аламыз;

ә) алгебралық моменттері берілген күштердің O нүктесі арқылы алынған

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY

алгебралық моменттеріне тең (F_1, F_1''), (F_2, F_2''),..., (F_n, F_n'') жұптарын аламыз. Енді F_1, F_2,..., F_n күштерін бір-бірімен қосып бір күш аламыз. Ол күш барлық күштердің геометриялық жиынына тең болады және O нүктесіне түсіріледі, яғни $F_б = F_1' + F_2' + ... + F_n'$ немесе $F_1' = F_1$, $F_2' = F_2, \ldots, F_n' = F_n$ болғандықтан:

$$F_б = F_1 + F_2 + ... + F_n = \sum F_i . \qquad (14)$$

Бұдан кейін, барлық моменттерді бір-бірімен қосып бір момент аламыз. Ол момент – берілген күштердің O нүктесі арқылы алынған барлық моменттерінің алгебралық жиынына тең болады, яғни

$$M_б = M_o(F_1) + M_o(F_2) + ... + M_o(F_n) = \sum M_o(F_i) . \qquad (15)$$

$F_б$ – күштер жүйесінің бас векторы деп аталады.

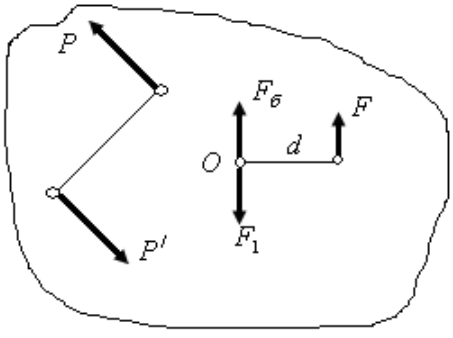
$M_б$ – күштер жүйесінің O нүктесі арқылы алынған бас моменті деп аталады.

Ескерту. *Белгілі бір күштер жүйесінің бас векторы, осы жүйенің тең әсер етуші күші болып табылмайды, өйткені бас вектор сәйкес күштер жұбынсыз аталған жүйенің әсеріне сай бола алмайды. Ал жүйенің тең әсер етуші күші осы күштер жүйесінің әсерін толығымен алмастыра алады*.

§2. Жазық күштер жүйесінің тең әсер етуші күші

Жазық күштер жүйесінің бас векторы нөлге тең болмаса, онда мұндай күштер жүйесін тең әсер етуші күшке келтіруге болатынын дәлелдейік.

Жазық күштер жүйесін центрге келтіріп, нөлге тең емес бас векторды және нөлге тең бас моментті алдық дейік. Бұл кезде күштер жүйесі бір ғана бас векторға эквивалент болатыны және бұл бас вектор осы жүйенің тең әсер етуші күші де болатыны сөзсіз. Сондықтан, егер жазық жүйені центрге келтіргенде бас вектор ($F_б$) нөлге тең болмаса, ал бас момент ($M_б$) нөлге тең болса, онда мұндай күштер жүйесі бас векторға тең болатын, келтіру центріне түсірілген тең әсер етуші күшке сәйкес келеді.



36-сурет

САТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY

Ал енді күштер жазық жүйесін берілген O центріне келтіргеннен кейін алынған бас күш $F_б$ және $(P, P^{/})$ жұбы нөлге тең болмасын, яғни $F_б \neq 0$, $M_б^O \neq 0$ деп (*36-сурет)* қарастырайық. ($M_б^O$ символындағы O әрпі бас моменттің O нүктесі арқылы алынғанын көрсетеді). Жұптың иіні мен күшін өзгертіп, бірақ олардың моментін сол қалпында қалдырайық. Бұл кезде пайда болатын жаңа жұптың (F, F_1) күші модулі бойынша бас вектордың шамасына тең болсын, яғни $F = F_1 = F_б$. Өзгертілген жұпты жазықтыққа көшірейік, тек бұл кезде өзгертілген жұптың бір күші, мысалы, F_1 күші O центріне түсіріліп, $F_б$ күшіне қарама-қарсы бағытталсын. Бұлай болған жағдайда, $F_б$ векторы мен F_1 күші теңестірілген күштер жүйесін құрастыратындықтан, күштердің денеге әсерін еш өзгертпей-ақ, оларды алып тастауға болады. Сонда аталған күштер жүйесіне эквивалент бір ғана күш қалады, ол күш – F. Осы күш қарастырылып отырған күштер жүйесінің тең әсер етуші күші болып табылады.

Сонымен, егер күштердің жазық жүйесін O центріне көшіргеннен кейін бас вектор ($F_б$) және бас момент ($M_б^O$) нөлге тең болмаса, онда бұл күштер жүйесі – геометриялық тұрғыдан бас векторға тең, бірақ келтіру центріне (O) түсірілмеген тең әсер етуші күшке келтіріледі. Бұл нүкте O центрінен $d = \dfrac{\left|M_б^O\right|}{F_б}$ қашықтықта орналасады (*36-сурет*). Өйткені:

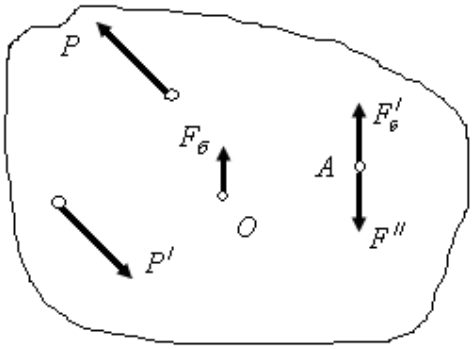
$$\left|M_б^O\right| = \left|M(F_1, F)\right| = F_б \cdot d \ . \qquad (16)$$

Ескертпе. *Осыдан Вариньон теоремасы (II тарау, §4) туындайды. Жоғарыдағы 36-суреттегі F күші тең әсер етуші күш болып табылады, ал оның O нүктесі арқылы алынған алгебралық моменті: $M_o(F) = F \cdot d$. Екінші жағынан, осы шамаға, күштер жүйесінің O центрі арқылы алынған моментіне дәл келетін, (F, F_1) жұбының алгебралық моменті де тең болады, яғни $M_o(F) = \sum M_o(F_i)$.*

§3. Күштердің жазық жүйесін бір жұпқа келтіру

Белгілі бір күштер жүйесі (суретте бұл күштер көрсетілмеген) O центріне көшірілгеннен кейін, осы центрге түсірілген бас векторға ($F_б$) және ($P, P^{/}$) жұбына тең болып шықсын. Ал бұл жұптың алгебралық моменті бас моментке ($M_б^O$) тең болсын (*37-сурет*).

САТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY



37-сурет

Енді басқа бір A центрін алып, берілген күштер жүйесіне эквивалент басқа бір күштер жүйесін түсірейік. Бұл күштер жүйесі бас вектордан ($F_б$) тұрсын және осы жүйенің моменті $M = M_б^O$ шамасына тең болсын. Осыдан кейін, бас векторды ($F_б$) A центріне алып келіп, жаңа вектор аламыз. Ол вектор $F_б$ – геометриялық тұрғыдан бас векторға ($F_б$) және ($F_б, F''$) жұбына тең болады. Бұл жұптың алгебралық моменті бас вектордың A нүктесі арқылы алынған алгебралық моментіне тең болады.

Сондықтан қарастырылып отырған күштер жүйесі бас векторға және екі жұпқа эквивалент келеді. Ал, бұл жұптардың алгебралық моменттері: $M = M_б^O$ және $M_1 = M_A(F_б)$. Осы жұптарды бір-біріне қосып, алгебралық моменті қосылып отырған жұптардың алгебралық моменттерінің жиынына тең бір жұп аламыз. Қорыта айтқанда: берілген күштер жүйесін жаңа центрге көшіргенде, мысалы, A центріне, бұл нүктедегі бас момент $M_б^A$ бұрынғы O нүктесіндегі бас моменттен ($M_б^O$) өзгеше болады, яғни

$$M_б^A = M_б^O + M_A(F_б). \qquad (17)$$

Бұдан кейін, күштердің жазық жүйесін центрге көшірген кезде бас вектор нөлге тең, ал бас момент нөлге тең болмасын деп қарастырайық. Бұл жағдайда, әрине, күштер жүйесі бір жұпқа ғана эквивалент болады. Сондықтан, *егер күштер жазық жүйесінің бас векторы нөлге тең, ал оның бас моменті нөлге тең болмаса, онда мұндай күштер жүйесі бір ғана жұпқа келтіріледі. Бұл жұптың алгебралық моменті осы жүйенің күштер әсері жазықтығының кез келген нүктесі арқылы алынған жүйенің бас моментіне тең болады*.

Қарастырылып отырған жағдайда бас вектор нөлге тең болғандықтан, *17-формуладан*

$$M_б^A = M_б^O. \qquad (17\text{-а})$$

формуланы аламыз:

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY

§4. Күштер жазық жүйесінің тепе-теңдік шарттары

Егер күштер жазық жүйесінің бас векторы мен бас моменті нөлге тең болмаса, онда осы күштер жазық жүйесі әсер етіп тұрған еркін дене тепе-теңдік күйде болмайды.

Денеге әсер етіп тұрған күштер жүйесінің бас векторы мен бас моменті нөлге тең болған жағдайда ғана еркін дене тепе-теңдік күйде болады. Шындығында, егер күштер жүйесінің бас векторы мен бас моменті нөлге тең болмаса, онда күштер жүйесі тең әсер етуші күшке немесе жұпқа келтіріледі, демек тепе-теңдік болмайды. Ал бас вектор нөлге тең болған жағдайда центрге келтірілген барлық күштер ($F_1^{/}, F_2^{/}, ..., F_n^{/}$) теңдестіріледі, сол секілді, бас момент нөлге тең болғанда жұптарда ($F_1, F_1^{//}$), ($F_2, F_2^{//}$),…, ($F_n, F_n^{//}$) тепе-теңдік күйде болады. Сондықтан берілген күштер жүйесіне $\{F_1, F_2, ..., F_n\}$ эквивалент жүйе $\{F_1^{/}, F_2^{/}, ..., F_n^{/}; (F_1, F_1^{//}), (F_2, F_2^{//}), ..., (F_n, F_n^{//})\}$ теңдестірілген жүйе болып табылады.

Сонымен, *еркін қатты денеге әсер етуші кез келген күштер жазық жүйесі тепе-теңдік күйде болу үшін, оның бас векторы мен бас моменті нөлге тең болуы қажет және жеткілікті. Бұл момент, осы жүйенің күштер әсері жазықтығының кез келген нүктесі арқылы алынады*. Демек:

$$\sum F_i = 0, \quad \sum M_O(F_i) = 0. \qquad (18)$$

Алынған теңдіктер, күштер жазық жүйесі тепе-теңдік күйде болу үшін қажет және жеткілікті шарттар болып табылады. Бірақ, бұл теңдіктерді есеп шығаруға қолданғанда, кейбір ыңғайсыздықтар туындайды, өйткені *18-формуланың* бірінші теңдігі – вектор. Сондықтан бірінші теңдікті скаляр түрінде жазайық.

Бас вектор модулі бойынша: $F_б = \sqrt{(F_б^x)^2 + (F_б^y)^2}$, ал бұл өрнектегі

$$F_б^x = \sum F_{ix}, \quad F_б^y = \sum F_{iy}$$

Күштер жүйесі тепе-теңдікте болған кезде, бас вектордың модулі нөлге тең болатындықтан, оның координата осьтеріндегі проекциялары да нөлге тең болады, яғни

$$F_б^x = \sum F_{ix} = 0, F_б^y = \sum F_{iy} = 0.$$

Осы екі теңдеуге 18-формуладағы екінші теңдеуді қосып, күштердің жазық жүйесі үшін тепе-теңдіктің скаляр түріндегі үш шартын аламыз, олар:

$$F_б^x = \sum F_{ix} = 0, \; F_б^y = \sum F_{iy} = 0, \; \sum M_O(F_i) = 0. \qquad (19)$$

Қорыта айтқанда, *еркін қатты денеге әсер етуші кез келген күштердің жазық жүйесі тепе-теңдікте болу үшін:*

- әсер етуші күштердің, осы күштер әсер етіп тұрған жазықтықтағы екі координата осьтеріндегі проекцияларының барлығының жиыны нөлге тең болуы;

САТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY

- осы күштердің, аталған жазықтықтағы кез келген нүкте арқылы алынған алгебралық моменттерінің жиыны нөлге тең болуы қажет және жеткілікті болып табылады.

Статикалық тепе-теңдіктің басқаша қорытындылатын екі түрін келтірейік.

1. *Егер еркін қатты денеге әсер етуші кез келген күштердің жазық жүйесінің осы күштер әсер етіп тұрған жазықтықтағы бір түзудің бойында жатпайтын үш нүкте арқылы алынған алгебралық моменттері нөлге тең болса, онда бұл күштердің жазық жүйесі тепе-теңдік күйде болады,* демек,

$$\sum M_A(F_i) = 0\,,\ \sum M_B(F_i) = 0\,,\ \sum M_C(F_i) = 0\,. \qquad (19\text{-а})$$

2. *Егер еркін қатты денеге әсер етуші кез келген күштердің жазық жүйесінің осы күштер әсер етіп тұрған жазықтықтағы А және В екі нүктесі арқылы алынған алгебралық моменттері нөлге тең болса, сонымен қоса, әсер етуші күштердің осы күштер әсер етіп тұрған жазықтықтағы А және В нүктелері арқылы өтетін түзуге перпендикуляр емес бір координата осіндегі әсер етуші күштердің проекцияларының жиыны нөлге тең болса, онда бұл күштердің жазық жүйесі тепе-теңдік күйде болады,* демек:

$$\sum M_A(F_i) = 0\,,\ \sum M_B(F_i) = 0\,,\ \sum F_{ix} = 0\,. \qquad (19\text{-ә})$$

Сонымен қатар статикалық тепе-теңдіктің жекеленген екі түрін келтірейік.

1. *Еркін қатты денеге әсер етуші өзара параллель күштердің жазық жүйесі тепе-теңдікте болу үшін: а) әсер етуші күштердің, осы күштер әсер етіп тұрған жазықтықтағы аталған күштерге параллель координата осіндегі проекцияларының жиыны нөлге тең болуы; ә) осы күштердің, аталған жазықтықтағы кез келген нүкте арқылы алынған алгебралық моменттерінің жиыны нөлге тең болуы міндет және жеткілікті болып табылады.*

$$\sum M_O(F_i) = 0\,,\ \sum F_{iy} = 0 \text{ немесе } \sum F_{ix} = 0\,. \qquad (19\text{-б})$$

2. *Егер еркін қатты денеге әсер етуші өзара параллель күштердің жазық жүйесінің осы күштер әсер етіп тұрған жазықтықтағы аталған күштерге параллель түзудің бойында жатпайтын екі нүкте арқылы алынған алгебралық моменттері нөлге тең болса, онда бұл күштердің жазық жүйесі тепе-теңдік күйде болады,* демек,

$$\sum M_A(F_i) = 0\,,\ \sum M_B(F_i) = 0\,. \qquad (19\text{-в})$$

§5. Күштер жазық жүйесі әсер етіп тұрған денелердің тепе-теңдігінің есептері туралы

Кез келген күштердің жазық жүйесі әсер етіп тұрған еркін қатты дененің тепе-теңдігінің есептерін шығарудың жалпы жоспары:

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY

- тепе-теңдігі қарастырылатын қатты денеге әсер етуші күштерді (берілген немесе белгілі күштер) және ізделіп отырған күштерді сараптап алу керек;

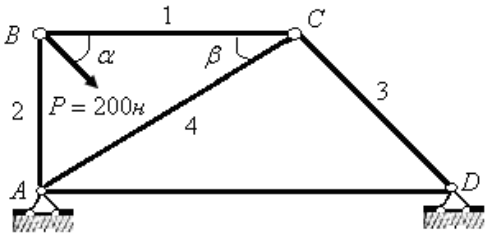
- қарастырылып отырған дененің тіректерін (байланыстарын) алып тастап, олардың әсерін реакциялармен алмастыру керек;

- тіректері алынып тасталған дененің бейнесін қайтадан сызып алып, осы денеге әсер етуші күштерді және тірек реакцияларын көрсету керек (бұл бейне қарастырылып отырған дененің есептеу нұсқасы деп аталады);

- статиканың тепе-теңдік теңдеулерін құрып, ізделіп отырған белгісіздерді анықтау керек;

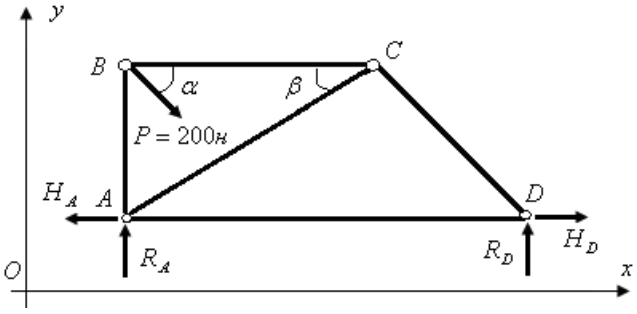
- статиканың қосымша теңдеуін (19-а) құрып, алынған нәтиженің дұрыстығын тексеру керек.

1-мысал. Ферма $ABCD$ P күшімен жүктелген (*38-сурет*). Ферманың тірек реакцияларын анықтау керек. Бұрыш $\alpha = 45^0$, $AD = 5м$, $AB = 2м$, ал басқа берілімдер суретте көрсетілген.



38-сурет

Ферманың A және D тіректерін алып тастап, оларды R_A, R_D, H_A және H_D реакцияларымен алмастырамыз (*39-сурет*).



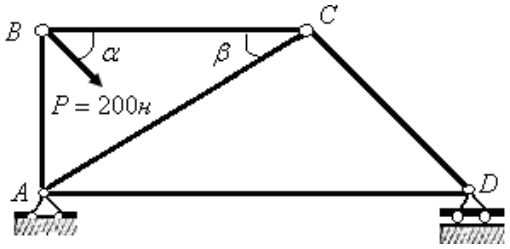
39-сурет

Бұл кезде белгісіз төрт реакция пайда болады. Статиканың теңдеулері үшеу ғана болғандықтан, мұндай есеп статикалық анықталмайтын есеп

САТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY

болып табылатынын бұрында айтқанбыз. Сондықтан мұндай есептер тек статиканың теңдеулерінің көмегімен шешілмейді.

Енді ферманың D тірегін жылжымалы топсамен алмастырайық (*40-сурет*). Бұл ферманың есептеу нұсқасы *41-суретте* көрсетілген. Ал бұл кезде, белгісіз үш реакция пайда болады. Статиканың теңдеулері үшеу болғандықтан, есеп статикалық анықталатын болып табылады.



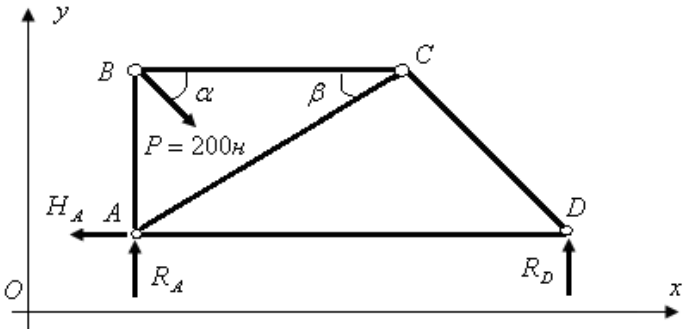
40-сурет

Статиканың теңдеулерін құрайық:

$$\sum x = 0 \;\Rightarrow\; P\cdot\cos\alpha - H_A = 0\,. \qquad \text{(а)}$$

$$\sum y = 0 \;\Rightarrow\; -P\cdot\sin\alpha + R_A + R_D = 0\,. \qquad \text{(ә)}$$

$$\sum M_A = 0 \;\Rightarrow\; P\cdot 2\cdot\cos\alpha - R_D\cdot 5 = 0\,. \qquad \text{(б)}$$



41-сурет

- «а» теңдеуінен: $P\cdot\cos\alpha = H_A \;\Rightarrow\; H_A = P\cdot\cos\alpha = 200\cdot 0,707 = 141,4н\,.$

- «ә» теңдеуінен: $R_D = \dfrac{P\cdot 2\cdot\cos\alpha}{5} = \dfrac{200\cdot 2\cdot 0,707}{5} = 56,56н\,.$

- «б» теңдеуінен: $R_A = P\cdot\sin\alpha - R_D = 200\cdot 0,707 - 56,56 = 84,84н\,.$

Алынған нәтижелерді тексеру үшін қосымша теңдеу құрамыз. Ол үшін B нүктесі арқылы алынған моменттер жиынын қарастырамыз.

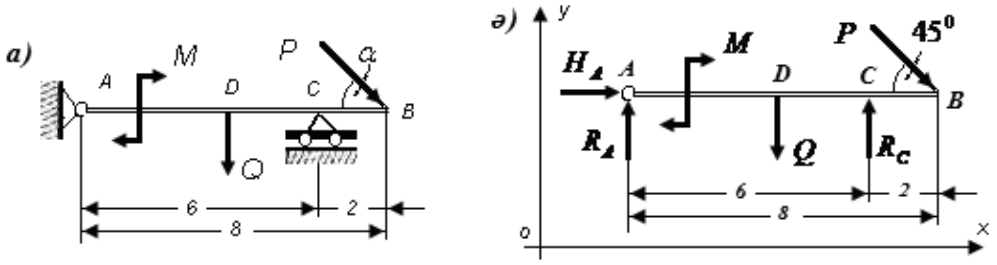
$$\sum M_B = 0 \;\Rightarrow\; H_A\cdot 2 - R_D\cdot 5 = 0 \;\Rightarrow\; 141,4\cdot 2 - 56,56\cdot 5 = 0 \;\Rightarrow\; 0 \equiv 0\,.$$

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY

2-мысал. Салмағы $Q = 1$кН біртекті арқалық өзінің A қимасы арқылы топсамен бекітіліп, ал оның C нүктесі жылтыр қабырғаға тіреліп қойылған.

Арқалыққа моменті М=1000*нм* қос күш және сонымен бірге 45^0 бұрышпен бағытталған $P = 4кН$ күші әсер етеді (*42-сурет*). Берілгені: АВ = *a* =8*м* және АС = 3/4а=6*м* (*42 а-сурет*). А топсасының және С тірегінің реакцияларын табу керек.

Шешуі. Арқалықтың тепе-теңдігін қарастырамыз. Ол үшін, әсер етуші барлық күштер (берілген және реакция күштері) көрсетілген, арқалықтың есептеу нұсқасын келтіреміз (*42 ә-сурет*). С тірегінің реакциясының (R_C) жоғары қарай тік бағыттап, ал А топсасының реакциясын екі құраушыға (R_A, H_A) жіктеп, оларды суретте көрсетілгендей етіп бағыттаймыз.



42-сурет

Координаттар жүйесін *42 ә-суретінде* көрсетілгендей етіп аламыз да, тепе-теңдік теңдеулерін құрамыз:

$$\sum X = 0; \quad H_A + P \cdot \cos\alpha = 0,$$
$$\sum m_A(P_i) = 0; \quad -Q \cdot AD - P \cdot AK - M + R_C \cdot AC = 0,$$
$$\sum m_C(P_i) = 0; \quad Q \cdot CD - R_A \cdot AC - P \cdot CL - M = 0.$$

Ескерту. Қос күш моментінің кез келген оське проекциясы нөлге тең болады.

AKB және CLB тік бұрышты үшбұрыштарынан: $AK = a \cdot \sin\alpha$, $CL = \frac{a}{4} \cdot \sin\alpha$. Осы мәндерді жоғарыдағы теңдеулерге қойғаннан кейін:

$$R_A = \frac{1}{3} \cdot (Q - P \cdot \sin\alpha) - \frac{4 \cdot M}{3 \cdot a} = -773\,н,$$
$$R_c = \frac{2}{3} \cdot (Q + 2P \cdot \sin\alpha) + \frac{4 \cdot M}{3 \cdot a} = 4600\,н,$$
$$H_A = -P \cdot \cos\alpha = -2830\,н.$$

R_A, H_A - реакцияларының минус таңбалары, олардың іс жүзіндегі бағыттары, суретте көрсетілген бағытқа қарама-қарсы бағытталғанын көрсетеді.

САТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ SATBAYEV UNIVERSITY