

**“ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ”
ДАВЛАТ АКЦИОНЕРЛИК ТЕМИР ЙЎЛ КОМПАНИЯСИ**

Тошкент темир йўл мухандислари институти
“Қурилиш механикаси” кафедраси

Назарий механика фанидан

3-ЛҲИ

Моддий нукта динамикаси

Шифр:

			-		
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	-	<i>d</i>	<i>e</i>

Бажарди: _____ гуруҳ талабаси

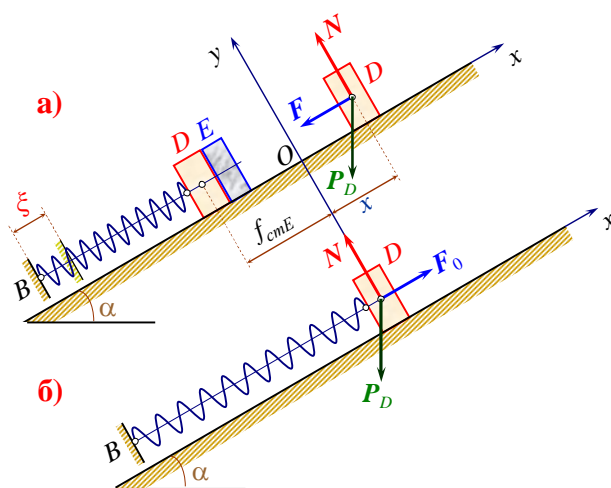
Текширди: _____

«_____» _____ **2010 й.**

1-масала. Моддий нуқтанинг тебранма ҳаракатини текшириш

Масаланинг қўйилиши: Массалари $m_D = 2$ кг ва $m_E = 3$ кг бўлган D ва E юклар горизонтга нисбатан $\alpha = 30^\circ$ бурчак остида қияланган силлик текисликнинг устида бикрлиги $c = 6$ Н/см бўлган пружинага тиралиб турибди. Вақтнинг бирор онда E юк олиб ташланади ва шу билан бир вақтда ($t = 0$ да) пружинанинг пастки учи B қия текислик бўйлаб $\xi = 0,02 \sin 10t$ (м) қонун бўйича ҳаракат қила бошлайди. D юкнинг ҳаракат тенгламаси топилсин.

Ечиш: Қўйилган масалани ечиш учун моддий нуқтанинг ҳаракат дифференциал тенгламаларидан фойдаланамиз. Санок боши сифатида координата системасини D юкнинг B нуқта ўзининг ўрта вазиятини ($\xi = 0$) олганда пружинанинг статик деформациясига мос келувчи тинч вазиятига мос қилиб оламиз. Ох ўқини қия текислик бўйлаб (D юкнинг E юк олингандан кейинги ҳаракати томонга қараб) йўналтирамиз.



D юкнинг ҳаракати қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$m_D a = \sum F_k, \quad (1.1)$$

бу ерда $\sum F_k = P_D + N + F$ - D юкка таъсир этувчи P_D - юкнинг оғирлик кучи, N - қия текисликнинг реакцияси ва F - пружинанинг қайтарувчи кучларнинг геометрик йиғиндисига тенг. (1.1) ни танлаб олинган координата ўқига проекцияласак,

$$m_D \frac{d^2 x}{dt^2} = -P_D \sin \alpha + F \quad (1.2)$$

кўринишга келади. Бу ерда $P_D = m_D g$, $F = -c(x - f_{stD} - \xi)$, f_{stD} - пружинанинг D юк таъсиридаги статик деформацияси, ξ - пружинанинг учи маҳкамланган нуқтанинг $\xi = 0,02 \sin 10t$ (м) қонун бўйича кўчиши.

Пружинанинг D юк таъсиридаги f_{stD} статик деформациясини юкнинг қия текислик устидаги тинч ҳолати тенгламасидан аниқлаймиз:

$$\sum F_k = P_D + N + F_{stD}, \text{ ёки } -P_D \sin \alpha + F_{stD} = 0,$$

бундан $F_{stD} = c f_{stD}$ эканидан,

$$f_{stD} = \frac{P_D \sin \alpha}{c}$$

ни топамиз. Бунга асосан, (1.2) қуйидаги кўринишга келади:

$$m_D \frac{d^2 x}{dt^2} = -P_D \sin \alpha - c \left(x - \frac{P_D \sin \alpha}{c} - \xi \right).$$

Демак, D юкнинг ҳаракат дифференциал тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$m_D \frac{d^2 x}{dt^2} + cx = \xi \quad \text{ёки} \quad m_D \frac{d^2 x}{dt^2} + cx = 0,02c \sin 10t. \quad (1.3)$$

Ушбу тенгламанинг барча ҳадларини m_D га бўламиз ва $c/m_D = k^2$ ва $0,02c/m_D = h$ деб белгилашлар киритсак, (1.3) дифференциал тенглама

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + k^2 x = h \sin 10t \quad (1.4)$$

кўринишга келади. Бу бир жинсли бўлмаган (1.4) тенгламанинг ечими

$\frac{d^2 x}{dt^2} + k^2 x = 0$ бир жинсли тенгламанинг x^* умумий ечими ва мазкур бир жинсли бўлмаган $\frac{d^2 x}{dt^2} + k^2 x = h \sin 10t$ тенгламанинг бирор бир x^{**} хусусий ечимларининг йиғиндисидан иборат: $x = x^* + x^{**}$.

Бир жинсли $\frac{d^2 x}{dt^2} + k^2 x = 0$ тенгламанинг умумий ечими қуйидаги

$$x^* = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt,$$

га тенг. Бир жинсли бўлмаган тенгламанинг хусусий ечимини $x^{**} = A \sin 10t$ кўринишда излаб, A коэффициентни аниқлаймиз. Бунинг учун ушбу ечимни (1.4) га қўямиз: $-A \cdot 10^2 \sin 10t + k^2 A \sin 10t = h \sin 10t$ ва бундан $A = h / (k^2 - 100)$ (м) эканини топамиз. Демак, хусусий ечим

$$x^{**} = \frac{h}{k^2 - 100} \sin 10t$$

кўринишда экан. (1.4) тенгламанинг умумий ечими қуйидагича бўлади:

$$x = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt + \frac{h}{k^2 - 100} \sin 10t \quad (\text{м}). \quad (1.5)$$

(1.5) тенгламадаги C_1 ва C_2 интеграллаш доимийларнинг қийматларини бошланғич шартлардан аниқлаймиз.

Текширилаётган ҳаракат пружинанинг D ва E юклар таъсиридаги тинч ҳолатдан бошланади. Саноқ боши O нинг қабул қилинган вазиятида D юкнинг бошланғич координатаси ($t=0$ да) $x_0 = -F_{stE}$, бунда $f_{stE} = P_E \sin \alpha / c$ - пружинанинг E юк таъсиридаги статик деформацияси, D юкнинг бошланғич тезлиги эса $\frac{dx_0}{dt} = 0$ га тенг.

Демак, бошланғич шартлар $t=0$ да $x_0 = -F_{stE}$ ва $\frac{dx_0}{dt} = 0$ экан.

$x = x(t)$ ва $\frac{dx}{dt} = \frac{dx(t)}{dt} = -C_1 k \sin kt + C_2 k \cos kt + \frac{10h}{k^2 - 100} \cos 10t$ тенгламаларни $t=0$

учун тузамиз:

$$x_0 = C_1 \quad \text{ва} \quad \frac{dx_0}{dt} = C_2 k + 10h / (k^2 - 100),$$

бундан

$$C_1 = -f_{stE}, \quad C_2 = -10h / [k(k^2 - 100)]$$

ни топамиз. Шундай қилиб, D юкнинг ҳаракат тенгламаси

$$x = -f_{stE} \cos kt - \frac{10h}{k(k^2 - 100)} \sin kt + \frac{h}{k^2 - 100} \sin 10t$$

кўринишда бўлар экан. Ушбу тенгламага кирувчи катталикларнинг сон қийматларини топамиз:

$$k = \sqrt{\frac{c}{m_D}} = \sqrt{\frac{6H / \text{см}}{2\kappa\text{г}}} = \sqrt{\frac{600\kappa\text{г} / \text{сек}^2}{2\kappa\text{г}}} = \sqrt{300 \text{сек}^{-2}} = 17,3 \text{сек}^{-1};$$

$$f_{stE} = \frac{m_E g \sin \alpha}{c} = \frac{3\kappa\text{г} \cdot 9,81\text{м} / \text{сек}^2 \cdot \sin 30^\circ}{6H / \text{см}} = 0,0245 \text{ м};$$

$$\frac{h}{k^2 - 100} = \frac{0,02\text{с}}{m_D(k^2 - 100)} = \frac{0,02 \cdot 600}{2(300 - 100)} = 0,03\text{м};$$

$$\frac{10h}{k(k^2 - 100)} = \frac{10 \cdot 0,3}{17,3} = 0,0173\text{м}.$$

Бундан, D юкнинг ҳаракат тенгламаси

$$x = -2,45 \cos 17,3t - 1,73 \sin 17,3t + 3 \sin 10t \quad (\text{см})$$

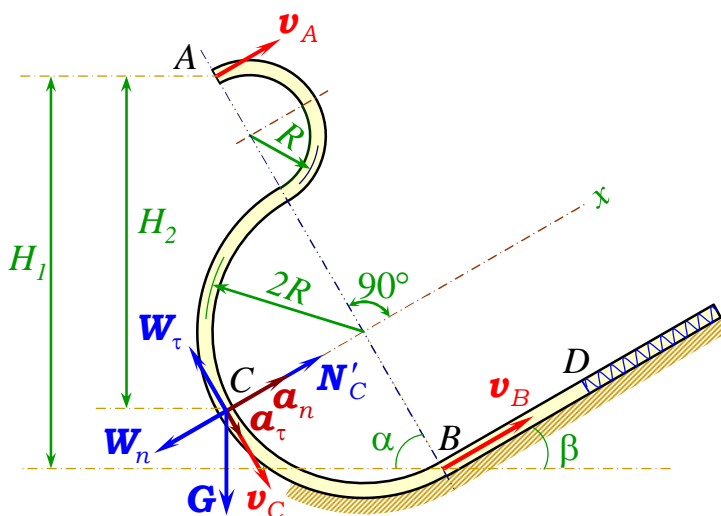
кўринишда экан.

2-масала. Динамиканинг асосий теоремаларини моддий нуқтанинг ҳаракатини текширишга татбиқи

Масаланинг қўйилиши: Моддий нуқта деб қабул қилинган шарча текисликда жойлашган найчанинг ичида A вазиятдан ҳаракатни бошлайди. Шарчанинг B ва C вазиятларидаги тезлиги, ҳамда C вазиятда унинг найча деворига берадиган босим кучи аниқлансин. Траекториянинг эгри чизиқли қисмларида ишқаланиш ҳисобга олинмасин.

Берилган:

Найчанинг тузилиши (2.1-расм); $m = 0,5 \text{ кг}$; $v_A = 0,8 \text{ м/с}$; $\tau = 0,1 \text{ с}$ (BD қисмда ҳаракатланиш вақти);



2.1-расм

$R = 0,2 \text{ м}; f = 0,1; \alpha = 60^\circ; \beta = 30^\circ; h_0 = 0; c = 1000 \text{ Н/см}.$

Топиш керак: v_B, v_C, N_C, h (пружинанинг максимал сиқилиши).

Ечиш: 1) v_B ва v_C ни аниқлаш учун моддий нуқта кинетик энергияси-нинг ўзгариши ҳақидаги теоремани қўллаймиз. Шарча траекториянинг AC ва AB қисмларида G оғирлик кучи таъсирида ҳаракат қилади (эгри чизиқли қисмларда ишқаланиш кучини ҳисобга олмаймиз):

$$\frac{mv_B^2}{2} - \frac{mv_A^2}{2} = \sum A_k = GH_1 = mg \cdot AB \cdot \sin \alpha = 6mgR \sin \alpha,$$

$$v_B^2 - v_A^2 = 12gR \sin \alpha \Rightarrow v_B = \sqrt{v_A^2 + 12gR \sin \alpha} = 4,59 \text{ м/с};$$

$$\frac{mv_C^2}{2} - \frac{mv_A^2}{2} = \sum A_k = GH_2 = mg \cdot (4R \sin \alpha + 2R \cos \alpha),$$

$$v_C^2 - v_A^2 = 4gR(2 \sin \alpha + \cos \alpha) \Rightarrow v_C = \sqrt{v_A^2 + 4gR(2 \sin \alpha + \cos \alpha)} = 4,26 \text{ м/с}.$$

2) Шарчанинг C вазиятида найча деворига берадиган босимини аниқлаймиз. Моддий нуқта учун Даламбер принципага асосан нуқтага қўйилган кучларнинг ва бу нуқта инерция кучининг геометрик йиғиндиси нолга тенглигидан фойдаланамиз:

$$\mathbf{G} + \mathbf{N}'_C + \mathbf{W}_C = 0.$$

Моддий нуқтанинг инерция кучини нормал ва уринма ташкил этувчиларга ажратамиз:

$$\mathbf{W}_C = \mathbf{W}_C^{(n)} + \mathbf{W}_C^{(\tau)}.$$

\mathbf{G} , \mathbf{N}'_C ва \mathbf{W}_C кучларнинг x ўқига проекцияларининг йиғиндисини нолга тенгласак, қуйидаги тенглама ҳосил бўлади:

$$N'_C - G \cos 60^\circ - W_C^{(n)} = 0.$$

Бундан,

$$N'_C = G \cos 60^\circ + W_C^{(n)} = mg \cos 60^\circ + \frac{mv_C^2}{R},$$

ёки $N'_C = 25,2 \text{ Н}.$

N'_C реакцияни табиий ҳаракат тенгламалари ёрдамида ҳам аниқлаш мумкин:

$$\frac{mv_C^2}{R} = \sum F_k \cos(\mathbf{F}_k, \mathbf{n}) = N'_C - G \cos 60^\circ.$$

Шарчанинг найча деворига берадиган N_C босими сон жиҳатидан аниқланган N'_C реакцияга тенг ва қарама-қарши томонга йўналган.

3) Пружинанинг максимал сиқилишини топиш учун, аввал шарчанинг D вазиятдаги тезлигини топишга тўғри келади. Шарчанинг

D вазиятдаги тезлигини моддий нукта ҳаракат миқдорининг ўзгариши ҳақидаги теоремани BD қисм учун татбиқ этиб топамиз (2.2-расм):

$$mv_{Dx} - mv_{Bx} = \sum S_{kx}.$$

Шарчага G оғирлик кучи, найча деворининг N' реакцияси ва F_{uu} ишқаланиш кучлари таъсир кўрсатади. Бунда

$$F_{uu} = f \cdot N' = f \cdot G \cos \beta;$$

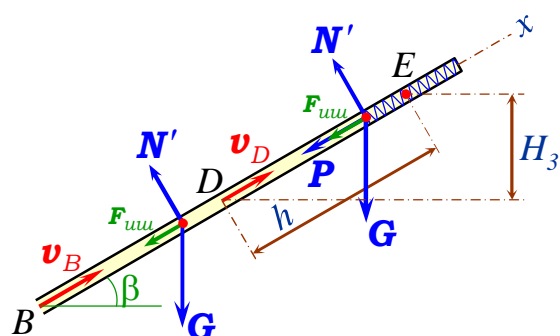
$$v_{Dx} = v_D, \quad v_{Bx} = v_B, \quad \sum S_{kx} = -G \sin \beta \cdot t - F_{uu} \cdot t = -mg(\sin \beta + f \cos \beta) \cdot t,$$

бўлгани учун

$$v_D = v_B - mg(\sin \beta + f \cos \beta) \cdot t$$

ва бундан, $v_D = 4,01$ м/с эканини топамиз.

Пружинанинг h максимал сиқилишини топиш учун DE қисмда моддий нукта кинетик энергиясининг ўзгариши ҳақидаги теоремадан фойдаланамиз:



2.2-расм

$$\frac{mv_E^2}{2} - \frac{mv_D^2}{2} = \sum A_k \Rightarrow$$

$$\frac{mv_E^2}{2} - \frac{mv_D^2}{2} = -\frac{ch^2}{2} - GH_3 - F_{uu}h.$$

$v_E = 0$ ва $H_3 = h \sin \beta$ эканлигини ҳисобга олсак, қуйидаги тенглама ҳосил бўлади:

$$\frac{ch^2}{2} + mg(\sin \beta + f \cos \beta) \cdot h - \frac{mv_D^2}{2} = 0,$$

ёки

$$h^2 + \frac{2mg(\sin \beta + f \cos \beta)}{c} \cdot h - \frac{mv_D^2}{c} = 0.$$

Ҳосил бўлган квадрат тенгламани илдизлари:

$$h_{1,2} = -0,003 \pm 0,09 \text{ м.}$$

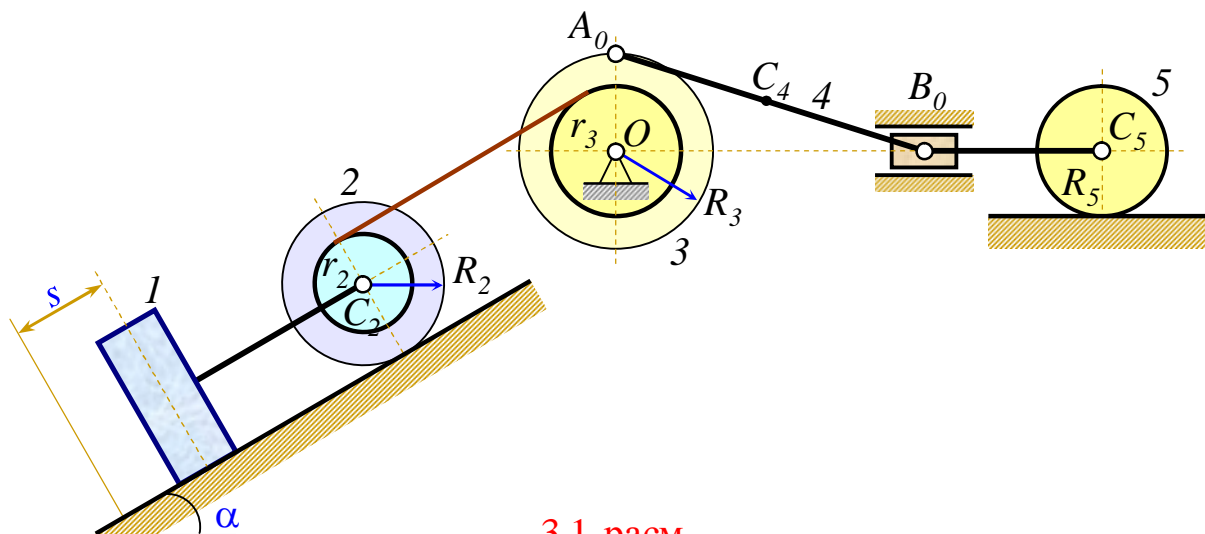
Қидирилаётган катталиқ сифатида квадрат тенгламанинг мусбат илдизини оламиз:

$$h = -0,003 + 0,09 = 0,087 \text{ м.}$$

3-масала. Механик система ҳаракатини ўрганишга кинетик энергиянинг ўзгариши ҳақидаги теоремани қўллаш.

Масаланинг қўйилиши: Механик система тинч ҳолатдан оғирлик кучи таъсирида ҳаракатга келади. 1-жисмнинг ишқаланиш

кучини ва сирпанмасдан ғилдирайдиган жисмларнинг думалашга қаршилигини, шунингдек, бошқа қаршилиқ кучларини, ҳамда чўзилмайди деб фараз қилинган ипнинг массасини ҳисобга олмаган ҳолда 1-жисмнинг босиб ўтган s йўлга тенг бўлган вақт они учун тезлигини аниқланг.



3.1-рasm

Берилган: Механик системанинг бошланғич ҳолати 3.1-рasmда келтирилган. m_1 - 1-юкнинг массаси, $m_2 = 2m_1$, $m_3 = m_1$, $m_4 = 0,5m_1$, $m_5 = 20m_1$, $R_2 = R_3 = 12$ см, $r_2 = 0,5R_2$, $r_3 = 0,75R_3$, $R_5 = 20$ см, $AB = l = 4R_3$, $i_{2\xi} = 8$ см, $i_{3x} = 10$ см, $\alpha = 30^\circ$, $f = 0,1$, $\delta = 0,2$ см, $s = 0,06\pi$ м. 4-шатун ингичка бир жинсли стержен, 5-юмалагич бир жинсли туташ цилиндр деб ҳисоблансин, BC_5 қисм ва B ползуннинг массалари эътиборга олинмасин.

Топиш керак: v_1 (1-жисмнинг охргги ҳолати учун тезлиги).

Ечиш: 1) Система кинетик энергиясининг ўзгариши ҳақидаги теоремани қўллаймиз:

$$T - T_0 = \sum A_k^e + \sum A_k^i. \quad (3.1)$$

Бу ерда T ва $T_0 = 0$ - системанинг охирги ва бошланғич ҳолатдаги кинетик энергиялари; $\sum A_k^e$ ва $\sum A_k^i$ лар системага таъсир этувчи ташқи ва ички кучларнинг бажарган ишлари йиғиндиси. Текшириляётган система чўзилмайдиган ип ва стерженлар билан уланган абсолют қаттиқ жисмлардан ташкил топгани учун $\sum A_k^i = 0$ бўлади. Демак, (3.1):

$$T = \sum A_k^e. \quad (3.2)$$

Системанинг T кинетик энергияси ва ташқи кучларнинг бажарган ишларини аниқлаш учун системани охирги ҳолатда тасвирлаш керак.

2) Система нуқталарининг тезликлари ва кўчишлари орасидаги муносабатларни ёзамиз; шу билан бирга тезликлар ва кўчишларни мос

равишда 1-жисмнинг тезлиги ва кўчиши орқали ифодалаймиз.

2-юмалагичнинг C массалар маркази тезлиги 1-юк тезлигига тенг:

$$v_{C2} = v_1. \quad (3.3)$$

Тезликлар оний маркази P_2 нуқтада бўлган 2-юмалагичнинг бурчак тезлиги қуйидагига тенг:

$$\omega_2 = \frac{v_{C2}}{C_2 P_2},$$

бундан (3.3) ни ҳисобга олсак, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\omega_2 = \frac{v_1}{R_2}. \quad (3.4)$$

2-юмалагичнинг D нуқтаси тезлиги

$$v_D = \omega_2 D P_2 = \frac{v_1}{R_2} (R_2 + r_2) \quad \text{ёки} \quad r_2 = 0,5 R_2 \quad \text{эканидан} \quad v_D = 1,5 v_1$$

га тенг. Иккинчи томондан, чўзилмайдиган ип бўлгани учун 3-блокнинг E нуқтаси тезлиги 2-юмалагичнинг D нуқтаси тезлигига тенг: $v_E = v_D$. Лекин, 3-блок айланма ҳаракатда бўлганидан

$$v_E = \omega_3 r_3,$$

ва бундан

$$\omega_3 r_3 = 1,5 v_1 \quad \text{ёки} \quad \omega_3 = \frac{3}{2} \cdot \frac{v_1}{r_3}. \quad (3.5)$$

Бу формуладан, $\omega_3 = \frac{d\varphi_3}{dt}$ ва $v_1 = \frac{ds}{dt}$ эканлиги эътиборга олинса,

$$\frac{d\varphi_3}{dt} = \frac{3}{2 r_3} \cdot \frac{ds}{dt} \quad \text{ёки} \quad d\varphi_3 = \frac{3}{2 r_3} \cdot ds$$

ни ҳосил қиламиз. Бошланғич вақтда $\varphi_{30} = 0$, $s_0 = 0$ бўлиши назарда тутиб, сўнгги ифодани интегралаб,

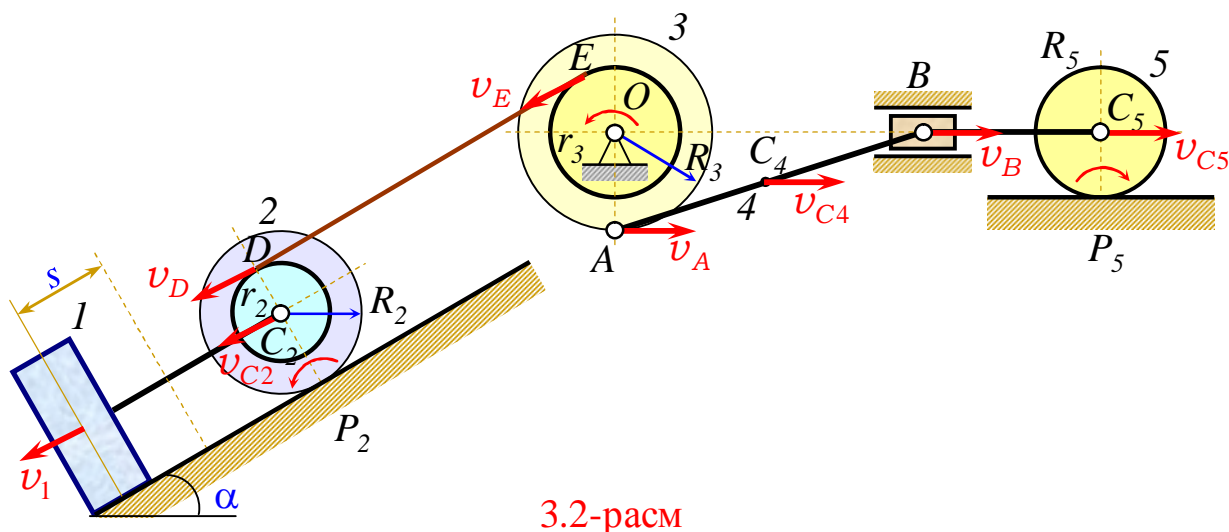
$$\varphi_3 = \frac{3}{2} \cdot \frac{s}{r_3} \quad (3.6)$$

эканлигини аниқлаймиз. 1-юк $s = 0,06\pi$ м йўл босиб ўтганда, 3-блокнинг

$$\varphi_3 = \frac{3}{2} \cdot \frac{s}{r_3} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,06\pi}{0,09} = \pi$$

бурчакка айланишини топамиз. 3-блокнинг шу 180° га бурилганда унинг A_0 нуқтаси A нуқтага кўчади ва 4-шатун $A_0 B_0$ бошланғич ҳолатдан AB ҳолатга ўтади (3.2-расм). 3-блок $\pi/2$ бурчакка бурилганда 5-юмалагич

ўннга, 3-блок яна $\pi/2$ бурчакка бурилганда эса чапга силжийди. Демак, 5-юмалагичнинг охириги ҳолати унинг бошланғич ҳолатига мос келади (3.3-расм). Шундай қилиб, **системанинг охириги ҳолати тўла аниқланди.**



3.2-расм

3) Системанинг охириги ҳолатидаги кинетик энергиясини уни ташкил этувчилари кинетик энергияларининг йиғиндиси каби ҳисоблаймиз:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5. \quad (3.7)$$

Илгариланма ҳаракат қилувчи 1-жисмнинг кинетик энергияси:

$$T_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2}. \quad (3.8)$$

Текис параллел ҳаракат қилувчи 2-юмалагичнинг кинетик энергияси қуйидагича аниқланади:

$$T_2 = \frac{m_2 v_{C2}^2}{2} + \frac{J_{2\xi} \omega_2^2}{2},$$

бу ердан 2-юмалагичнинг $C_{2\xi}$ дан ўтувчи марказий ўқиға нисбатан инерция моменти $J_{2\xi} = m_2 i_{2\xi}^2$ га тенглиги эътиборга олинса,

$$T_2 = \frac{m_2 v_{C2}^2}{2} + \frac{m_2 i_{2\xi}^2 v_1^2}{2R_2^2} = \frac{m_2 v_1^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{i_{2\xi}^2}{R_2^2} \right). \quad (3.9)$$

Ох ўқи атрофида айланувчи 3-блокнинг кинетик энергияси:

$$T_3 = \frac{J_{3x} \omega_3^2}{2},$$

ва, 3-блокнинг Ох ўққа нисбатан инерция моменти $J_{3x} = m_3 i_{3x}^2$, бурчак тезлиги (3.5) эканидан, қуйидагини аниқлаймиз:

$$T_3 = \frac{m_3 i_{3x}^2}{2} \cdot \left(\frac{3 v_1}{2 r_3} \right)^2 = \frac{9 m_3 v_1^2}{8} \cdot \frac{i_{3x}^2}{r_3^2}. \quad (3.10)$$

Текис параллел ҳаракат қилувчи 4-шатуннинг кинетик энергияси қуйидагича аниқланади:

$$T_4 = \frac{m_4 v_{C4}^2}{2} + \frac{J_{4\xi} \omega_4^2}{2}.$$

4-шатун учун v_{C4} ва ω_4 ни аниқлаш учун тезликлар оний марказини топамиз. A ва B нуқталарнинг тезликлари шу онда параллел бўлганлиги учун 4-шатуннинг тезликлар оний маркази чексизликда жойлашади, яъни шатуннинг барча нуқталарининг тезликлари параллел ва ўзаро тенг бўлади. Демак, $\omega_4 = 0$, $v_{C4} = v_A$.

3-блокнинг A нуқтаси тезлиги $v_A = \omega_3 R_3$, ёки (3.5) ва $r_3 = 0,75 R_3$ эканидан $v_A = 2v_1$ ёки $v_{C4} = 2v_1$ ни аниқлаймиз. Демак, 4-шатуннинг кинетик энергияси қуйидагига тенг:

$$T_4 = \frac{m_4 (2v_1)^2}{2} = 2m_4 v_1^2. \quad (3.11)$$

Текис параллел ҳаракат қилувчи 5-юмалагичнинг кинетик энергияси қуйидагича аниқланади:

$$T_5 = \frac{m_5 v_{C5}^2}{2} + \frac{J_{5\xi} \omega_5^2}{2},$$

бу ерда 5-юмалагичнинг (бир жинсли туташ цилиндрнинг) $C_{5\xi}$ дан ўтувчи марказий ўқига нисбатан инерция моменти $J_{5\xi} = m_5 R_5^2 / 2$ га тенг. Юмалагич сирпанмасдан юмалагани учун тезликлар оний маркази P_5 нуқтада жойлашади. Шунинг учун $\omega_5 = v_{C5} / R_5$, демак,

$$T_5 = \frac{m_5 v_{C5}^2}{2} + \frac{m_5 R_5^2 v_{C5}^2}{4 R_5^2} = \frac{3 m_5 v_{C5}^2}{4}.$$

BC_5 стержен илгариланма ҳаракат қилгани учун $v_{C5} = v_B$, ўз навбатида $v_B = v_{C4} = 2v_1$ бўлгани учун $v_{C5} = 2v_1$ бўлади. Шунинг учун, 5-юмалагичнинг кинетик энергияси қуйидагича бўлади:

$$T_5 = \frac{3 m_5 (2v_1)^2}{4} = 3 m_5 v_1^2. \quad (3.12)$$

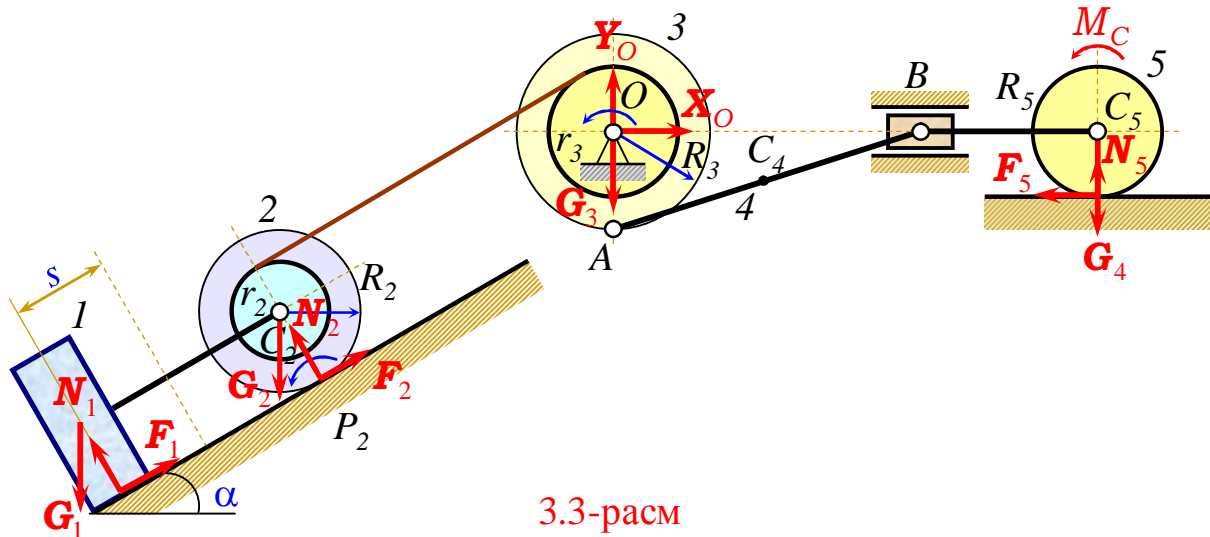
Берилган механик системанинг кинетик энергияси (3.7) формулага (3.8)-(3.12) ларни қўйиб, қуйидагига тенглигини аниқлаймиз:

$$T = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_1^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{i_{2\xi}^2}{R_2^2} \right) + \frac{9 m_3 v_1^2}{8} \cdot \frac{i_{3x}^2}{r_3^2} + 2 m_4 v_1^2 + 3 m_5 v_1^2$$

ёки

$$T = \frac{m_1 v_1^2}{2} \cdot \left(1 + 2 \left(1 + \frac{i_{2\xi}^2}{R_2^2} \right) + \frac{9i_{3x}^2}{4r_3^2} + 2 + 120 \right) = \frac{129m_1 v_1^2}{2}. \quad (3.14)$$

4) Системага қўйилган барча ташқи кучларнинг системанинг берилган қўчишида бажарган ишлари йиғиндисини топамиз. Системага қўйилган барча ташқи кучларни кўрсатамиз (3.3-расм).



3.3-расм

G_1 оғирлик кучининг бажарган иши:

$$A_{G1} = G_1 h_1 = m_1 g s \sin \alpha. \quad (3.15)$$

F_{uu} ишқаланиш кучининг бажарган иши $A_{Fuu} = -F_{uu} s$ га тенг.
 $F_{uu} = fN_1 = fG_1 \cos \alpha$ эканидан:

$$A_{Fuu} = -f m_1 g s \cos \alpha. \quad (3.16)$$

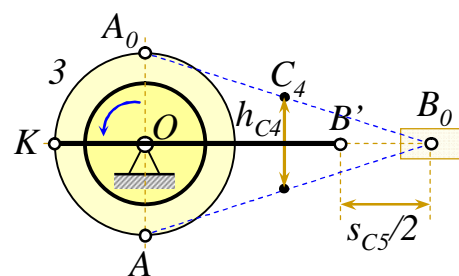
G_2 оғирлик кучининг бажарган иши:

$$A_{G2} = G_2 h_{C2} = m_2 g s \sin \alpha. \quad (3.17)$$

2- ва 5- юмалагичларнинг F_{tuu2} ва F_{tuu5} тишлашиш кучларининг бажарган ишлари нолга тенг, чунки бу кучлар юмалагичлар тезликларининг оний марказларига қўйилган.

G_4 оғирлик кучининг бажарган иши: $A_{G4} = G_4 h_{C4}$ га тенг, бу ерда h_{C4} - 4-шатун оғирлик маркази C_4 нинг бошланғич ҳолатдан унинг охириги ҳолатига вертикал силжиши (3.4-расм): $h_{C4} = R_3$. Демак,

$$A_{G4} = G_4 R_3 = m_4 g R_3. \quad (3.18)$$



3.4-расм

5-юмалагичнинг думалашга қаршилик кўрсатувчи жуфт кучининг бажарган иши $A_{MC} = -M_C \varphi_5$ га тенг, бу ерда $M_C = \delta N_5 = \delta G_5$. Юмалагич сирпанмасдан думалагани учун унинг бурилиш бурчаги $\varphi_5 = s_{C5} / R_5$ бўлади, бу ерда s_{C5} - 5-юмалагич оғирлик маркази C_5 нинг кўчиши белгиланган. Думалашга қаршилик кўрсатувчи жуфт кучнинг бажарган ишини 3-блок $\pi/2$ бурчакка бурилганда 5-юмалагич чапга, 3-блок яна $\pi/2$ бурчакка бурилганда 5-юмалагич ўнга юмалашидаги жуфт кучларнинг бажарган ишларининг йиғиндиси сифатида аниқлаймиз.

5-юмалагич оғирлик маркази C_5 нинг кўчиши B ползуннинг чап ва ўнг кўчишлари йиғиндисига тенг: $s_{C5} = 2 \cdot B_0 B'$.

3-блок $\pi/2$ бурчакка бурилганда $B_0 B'$ кўчишни аниқлайлик. B нуктанинг координаталарини ҳисоблаш учун санок боши сифатида текисликнинг кўзғалмас K нуктасини танлаб оламиз (3.4-расм). 3-блок бу бурилишида шатун $A_0 B_0$ ҳолатдан $K B'$ ҳолатга кўчади. Бундай ҳолда

$$B_0 B' = KB_0 - KB',$$

бу ерда

$$KB_0 = KO + OB_0 = R_3 + \sqrt{(A_0 B_0)^2 - (A_0 O)^2} = R_3 + \sqrt{l^2 - R_3^2},$$

$$KB' = l = 4R_3.$$

$$\text{Демак, } B_0 B' = R_3 + \sqrt{l^2 - R_3^2} - l = R_3 + \sqrt{(4R_3)^2 - R_3^2} - 4R_3 = 0,88R_3.$$

Ушбу ифодадан 5-юмалагичнинг бурилиш бурчаги $\varphi_5 = 1,76R_3 / R_5$ ни аниқлаймиз. Шундай қилиб, 5-юмалагичнинг думалашга қаршилик кўрсатувчи жуфт кучининг бажарган ишини топамиз:

$$A_{MC} = -\delta m_5 g \cdot 1,76R_3 / R_5. \quad (3.19)$$

Ташқи кучларнинг бажарган ишларининг йиғиндисини (3.15)-(3.19) дан фойдаланиб аниқлаймиз:

$$\sum A_k^e = m_1 g s \sin \alpha - f m_1 g s \cos \alpha + m_2 g s \sin \alpha + m_4 g R_3 - \delta m_5 g \cdot 1,76R_3 / R_5$$

ёки

$$\sum A_k^e = m_1 g s \left(\sin \alpha - f \cos \alpha + 2 \sin \alpha + \frac{R_3}{2s} - \frac{20 \cdot 1,76 \cdot \delta R_3}{R_5 s} \right)$$

ва бундан

$$\sum A_k^e = 1,51 m_1 g s. \quad (3.20)$$

5) (3.2) га асосан, $T = 129 m_1 v_1^2 / 2$ ва $\sum A_k^e = 1,51 m_1 g s$ ларнинг қийматларини тенглаштириб, 1-жисмнинг тезлигини аниқлаймиз:

$$\frac{129 m_1 v_1^2}{2} = 1,51 m_1 g s \Rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{3,02 g s}{129}},$$

ва бундан $v_1 = 0,21$ м/с.