УДК: 677.052.48

МЕХАНИЗМЛАРДАГИ ТАРКИБЛИ ТИШЛИ ЦИЛИНДРЛАРНИНГ ДЕФОРМАЦИЯСИДАГИ ҲОЛАТ ТАҲЛИЛИ

[1]**Мирзаев Отабек Абдукаримович.** т.ф.ф.д. (PhD) доцент, E-mail: kiamoa@mail.ru.
[1]**Боймуратов Фаррух Хамзаевич.,** ассистент . E-mail: farrux.boymuratov@mail.ru
[1]**Мустапақулов Содиқ Унгибаевич -** ассистент. E-mail: s.mustapaqulov@mail.ru

[1]Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти. Қарши ш. Ўзбекистон Республикаси

Аннотация: *Мақолада механизмларда учрайдиган таркибли тишли цилиндрларнинг динамик таҳлили келтирилган. Маълумки механизмлардаги ишчи органларнинг ўзаро деформациясини камайтириш ва механизмларнинг ишлаш лаёқатини ошириш мақсадида уларга резина қобиқлар ўрнатиш машинасозликнинг янги йўналишларидан бири бўлиб қолмоқда. Механизмлар ҳаракатини ўрганишда ҳосил бўлаётган кучларни ўрганиш муаммоси бу соҳани мухим йўналишларидан бири ҳисобланади. Масаланинг динамик ечимлари графиклар тарзида келтирилган. Кучларнинг таъсири остидаги тишли цилиндр деформацияси ва кучланиши Эйлер тенгламаси ёрдамида ишлаб чиқилган.*

Калит сўзлар: механизм, ҳаракат, деформация, қайишқоқ, ҳажм, коэффициент, қатлам, қобиқ, тишли цилиндр, резина, солиштирма, энергия.

The article provides a dynamic analysis of compound gear cylinders found in mechanisms. It is known that in order to reduce the mutual deformations of the working bodies in the mechanisms and increase the productivity of the mechanisms, the installation of rubber shells on them remains one of the new areas of mechanical engineering. The problem of studying the forces arising in the study of the motion of mechanisms is one of the important directions in this area. Dynamic solutions of the problem are presented in the form of graphs. Deformation and stretching of the gear cylinder under the action of forces were developed according to the Euler equation.

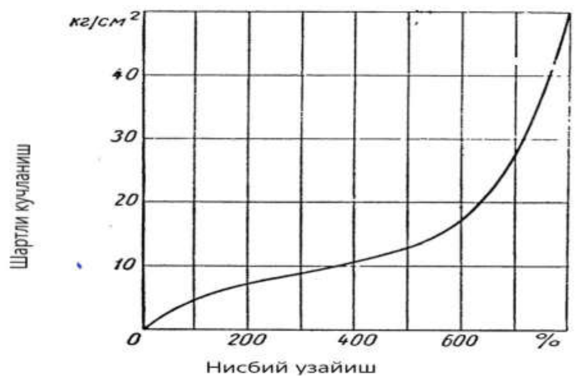
Key words: mechanism, movement, deformation, elasticity, volume, coefficient, layer, shell, toothed cylinder, rubber, specific, energy.

Кириш. Машинасозлик саноати ривожланган сари уни ҳосил қилувчи механизмларда ҳам муаммолар келиб чиқа бошлади. Механизмларда ҳосил бўладиган деформацияларни камайтириш учун резинали қобиқлар ўрнатила бошланди. Буни аввалроқ самолётсозлик, ракетасозликла кузатар эдик. Механик ечимлар топила борган сари муаммоларни ечишнинг янги усуллари аниқлана борди. Механизмлардаги динамика масалаларини ўрганиш орқали келажакдаги яратиладиган машиналарнинг самарали ишлашини таъминлаш мумкин. Ҳозирги даврда тишли цилиндрларни у таркибли қилиб тайёрлаш орқали улардаги бир қанча муаммоларни ечиш ҳал қилинади.

Механизлардаги ҳосил бўладиган динамик кучларни бошқа ишчи органларга узатишда имкон қадар “салбий” зарарларни пасайтириш, машиналарнинг иш унумдорлигини оширишда таркибли тишли цилиндрлар кенг қўлланила бошланди [1].

Одатда резиналар бошқа конструктив материаллардан кучли чўзилиш ёки сиқилиши билан фарқ қилади. 1-расмда каучук орқали бойитилган резинали механизмларнинг ўзига боғлиқ равишда 10 мартагача чўзилмай узилиши келтириб ўтилган. Тажрибалар шуни кўрсатадики, резиналарнинг деформацияланишида қолдиқ деформация қариийб кузатилмайди. Бунга боғлиқ тасдиқни 2- расмдан кўриш мумкин [2,3].

Эгри чизиқдан шуни кўриш мумкинки, $\varepsilon = 400\%$ ҳажмнинг ўзгариши, фақатгина катта деформацияларда учраши мумкин. Бу фоизни кичик деформациялар вақтида эътиборга олмаса бўлади. Шундай қилиб кичик деформацияларда Гук қонунига асосан чизиқли қайишқоқ материаллар учун Пуассон коэффициенти $\nu = 0{,}5$, Юнг модулини $E = 3G$ ($G - тан$ланадиган материалнинг силжиш модули). Бундай ҳолатларда танланадиган материалнинг механик хоссаларини Юнг модули E ёки силжиш модули орқали аниқлаш мумкин.



1-*расм*. Тўлдирилган резинанинг чўзилишига оид характеристикаси

Масаланинг қўйилиши ва тадқиқот усули. Тадқиқот жараёнида математикавий ҳисоблаш қоидалари, назарий механика қонуниятлари, статистик таҳлил усуллари ва боғлиқлик графикларидан фойдаланилган.

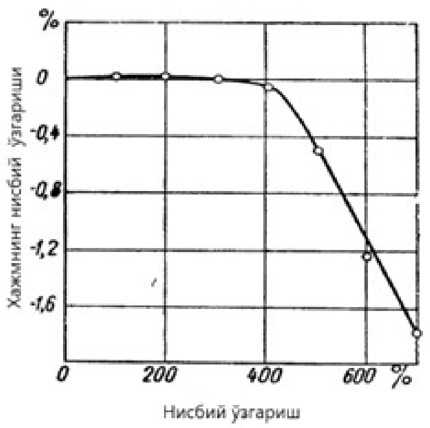
Тадқиқот объекти сифатида таркибли тишли цилиндрлар олинган бўлиб улар хозирги даврда машинасозликнинг деярли барча соҳаларида, жумладан енгил саноат, оғир саноат, машинасозликда кенг қўлланилади [4,5].

Таркибли тишли цилиндрлар тузилишига ва ишлатиш соҳасида унинг фақат кучлар таъсиридаги радиал силжиши, унинг қатлам қирқимидаги деформацияси, унинг таркибига кирган танланган материалнинг Юнг модули, Пуассон коэффициенти динамик кучларга ўзаро боғланиб ўрганилган.

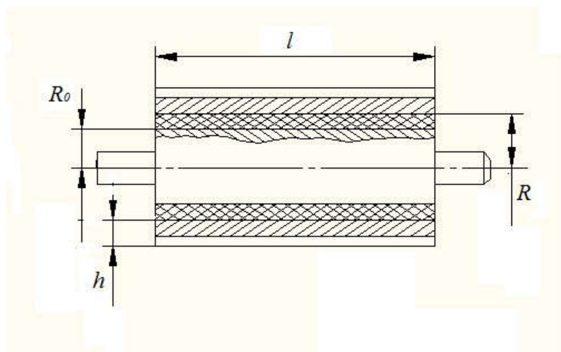
Тадқиқот натижалари ва уларнинг муҳокамаси. Ўқ бўйлаб силжиган ω кичик деформация компонентларини $\varepsilon_z, \varepsilon_r, \varepsilon_\theta$ орқали ифодалаймиз, поляр координаталардаги силжиш деформацияларини эса $\gamma_{zr}, \gamma_{z\theta}, \gamma_{r\theta}$ орқали белгилаймиз. Шунда ҳажмий деформацияни $\varepsilon_z + \varepsilon_r + \varepsilon_\theta = 0$ шартли равишда ҳисобга олмасдан деформациядаги солиштирма энергия қуйидаги формула орқали аниқланади

$$W_0 = G\left[\varepsilon_z^2 + \varepsilon_r^2 + \varepsilon_\theta^2 + \frac{1}{2}\left(\gamma_{zr}^2 + \gamma_{z\theta}^2 + \gamma_{r\theta}^2\right)\right]. \quad (1)$$

Қайишқоқ материал ҳажмининг доимийлигини фақатгина ҳисоблашда эмас балки конструкцияни лойиҳалашда ҳам ҳисобга олиш зарур.



2-расм. Холтон ва Макферсон маълумотлари асосида табиий қайишқоқ материалнинг чўзилишдаги ҳажмининг ўзгариши



3-расм. Қайишқоқ втулкали тишли цилиндр

Энди шу масалани 3 қатламли тишли цилиндр мисолида кўриб чиқамиз. Шу параметрларни хам эсдан чиқармаслик керакки 3 қатламли тишли цилиндр бурчак тезлиги доимий бўлиб уни ω орқали белгилаймиз (3- расм).

Масала динамиканинг масаласи таркибига киргани сабабли уни ечиш учун дастлабки белгилашларни киритамиз. l таркибли тишли цилиндрнинг узунлиги, R_0 ва R тишли цилиндр таркибига кирувчи резина қатламнинг ички ва ташқи радиуси, h қобиқнинг қалинлиги, ρ_c,ρ_0 резина ва қобиқ материалининг зичлиги деб белгилаш киритамиз. Координата бошини таркибли тишли цилиндрнинг ўртасида ўтказамиз ва $0z$ ўқини цилиндр таркибли тишли цилиндр ўқи бўйлаб йўналтирамиз.

Яна бир белгилаш киритамиз, улар U_r *ва* U_z бўлиб, бу цилиндрдаги қатламнинг ихтиёрий қирқимидаги радиаль ва ўқ бўйлаб силжиш. Шу нарсани эслатиб ўтиш лозимки бунда U_θ яъни бурчак силжиш 0 га тенг. Бу ҳақда кейинроқ батафсил тўхталамиз. Резина ва қатламдаги деформация ва кучланишни ҳисоблаш учун Ритц методидан фойдаланамиз. Шу нарсани эсдан чиқармаслик керакки қобиқнинг кўндаланг қирқими деформациядан олдин ҳам ва деформациядан кейин ҳам ўзидаги текислигини сақлайди, цилиндр ўқи бўйлаб силжишдаги U_z деформацияланиш жараёни фақатгина $0z$ координаталарга боғлиқ бўлади. Қатлам қирқимидаги деформация қуйидаги формула орқали аниқланади

$$\varepsilon_r = \frac{\partial U_r}{\partial r}, \varepsilon_\theta = \frac{U_z}{r}, \varepsilon_z = \frac{\partial U_z}{\partial z}, \gamma_{rz} = \frac{\partial U_r}{\partial z}, \gamma_{z\theta} = \gamma_{r\theta} = 0. \tag{2}$$

Цилиндрдаги қобиқнинг радиус ва айланиш ўқи бўйлаб силжишини $u_r(z)$ *ва* $u_z(z)$ орқали белгилаймиз.

Резина қатлам ҳажми $\varepsilon_z + \varepsilon_r + \varepsilon_\theta = 0$ шартга кўра доимий сақлаб, қуйидагини оламиз

$$\frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{U_z}{r} + \frac{\partial U_z}{\partial z} = 0. \tag{3}$$

Шу нарсани билган ҳолда $U_z = f(z)$ва (3) тенгламани $r = R_0$ бўлганда $u_r = 0$ билган холда уни интеграллаб қуйидагини оламиз

$$U_r = -\frac{1}{2} f^I(z)(r^2 - \frac{R_0^2}{r}. \tag{4}$$

$U_r(R, z) = u(z)$ деб белгилаш киритамиз ва уни (4) тенгламадаги $f^I(z)$ билан ўзаро боғлаймиз

$$U_z^I = f^I(z) \frac{2uR}{R^2 - R_0^2} \tag{5}$$

(4) ва (5) лардаги қатлам деформацияси ва унинг радиал силжишини u функция орқали формула билан келтирамиз

$$U_r = \frac{uR}{(R^2 - R_0^2)} \frac{r^2 - R_0^2}{r} \tag{6}$$

$$\varepsilon_r = \frac{uR}{R^2 - R_0^2}\left(1 + \frac{R_0^2}{r^2}\right), \varepsilon_\theta = \frac{uR}{R^2 - R_0^2}\left(1 - \frac{R_0^2}{r^2}\right), \varepsilon_z = -\frac{2uR}{R^2 - R_0^2}$$

$$\gamma_{rz} = \frac{u^I R}{(R^2 - R_0^2)} \frac{r^2 - R_0^2}{r} \tag{7}$$

Кучланишнинг тензор компонентлари қуйидагича боғланган

$$\sigma_r = 2G\varepsilon_r, \sigma_\theta = 2G\varepsilon_\theta, \sigma_z = 2G\varepsilon_z, , \sigma_{rz} = G\gamma_{rz}, \tag{8}$$

(7) даги деформация ифодасини (1) формулага қўйиб цилиндрик қатлам деформациясини солиштирма энергиясини аниқлаймиз

$$W_0 = \frac{R^2}{R^2 - R_0^2} G \left\{ \left[(1 + \frac{R_0^2}{r^2})^2 + (1 - \frac{R_0^2}{r^2})^2 + 4 \right] u^2 + \frac{u^{I2}(r^2 - R_0^2)^2}{2r^2} \right\} \tag{9}$$

Қирқим бўйича интеграллаб цилиндрик қатламнинг узунлик бирлигидаги деформациянинг энергиясини ҳисоблаймиз

$$W = 2\pi \int_{R_0}^{R} W_0 r dr = 2\pi G \frac{R^2}{(R^2-R_0^2)^2} \left\{ \begin{matrix} \frac{(R^4+2R^2R_0^2-3R_0^4)u^2}{R_0^2} + \frac{1}{8}[R^4 - \\ 4R^2R_0^2 + 3R_0^4 + 4R_0^4 In(\frac{R}{R_0})]u^{I2} \end{matrix} \right\} \quad (10)$$

Шу нарса маълумки, қобиқнинг деформацияланиш жараёни цилиндрик қатлам билан кучлар таъсирини ўзаро боғлаганда ҳосил бўлади. Унинг катталиги қобиқнинг радиал сижишига, резина қатламининг сиртига, марказдан қочма кучга пропорционалдир

$$P = k(u - u_r) + \rho_c \omega^2 R^2, \quad (11)$$

бу ерда $k -$ тажриба усули орқали аниқланадиган резина қатлам билан қобиқ орасидаги қайишқоқлик коэффициенти.

Бу кучлардаги ишнинг миқдори (қиймати) цилиндр узунлиги бирлигида қуйидагича аниқланади

$$A = 2\pi[\frac{k(u-u_r)^2}{2} + \rho_c \omega^2 R^2 u]$$

Системанинг тўлиқ энергияси қуйидагича аниқланади

$$\Pi = W + A = 2\pi G \frac{R^2}{(R^2-R_0^2)^2}$$

$$\left\{ \frac{(3R^4 - 2R^2R_0^2 - R_0^4)u^2}{R^2} + \frac{1}{8}\left[R^4 - 4R^2R_0^2 + 3R_0^4 + 4R_0^4 \ln\left(\frac{R}{R_0}\right)\right] u^{I2} \right\} +$$

$$2\pi[\frac{k(u-u_r)^2}{2} + \rho_c \omega^2 R^2 u] \quad (12)$$

Вариацияланадиган u ни (ўзгарадиган) функция деб қараб ва шу билан биргаликда вариацияланган принцпидан фойдаланган ҳолда Эйлер тенгламасини тузамиз

$$\frac{\partial \Pi}{\partial u} - \frac{d}{dz}\frac{\partial \Pi}{\partial u^I} = 0$$

$\Pi(u, u^I)$ ифодани охирги тенгламага қўйиб, қуйидагини оламиз

$$au^{II} - bu = ku_r + c \quad (13)$$

Бу ерда

$$a = \frac{\pi G R^2}{2(R^2-R_0^2)^2} [R^4 - 4R^2R_0^2 + 3R_0^4 + 4R_0^4 \ln(\frac{R}{R_0})] \quad (14)$$

$$b = \pi\left[4G\frac{R^2(3R^4 - 2R^2R_0^2 - R_0^4}{R^2(R^2-R_0^2)^2} + k\right], c = 2\pi R^2 \rho_c \omega^2 \quad (15)$$

(13) тенгламада қобиқнинг силжиши u_r ноъмаълум, уни аниқлаш учун цилиндр қобиқнинг моментсиз назариясидан фойдаланамиз [6].

Қўриб чиқилаётган ҳол учун деформация ва кучланиш орасидаги боғланишни қуйидаги формула орқали аниқлаймиз.

E_0ва υ_0 Юнг модули ва Пуассон коэффициенти , $N_z, N_\varphi -$ кучланиш бўлиб у қуйидаги тенгламани қондиради

$$\frac{dN_z}{dz} = 0, \quad (16)$$

$$N_\varphi = 2\pi k(u - u_r)R \quad (17)$$

(16) ва (17) тенгламадан $N_z = const = N_0$, ни оламиз, $N_0 -$ қобиқни четига таъсир қиладиган кучланиш. Унда тенглама N_z *ва* N_φифодаларни хисобига қуйидаги кўринишни олади

$$u_z^I = -\frac{1}{E_0 l}[2\pi R v_0 k(u - u_r) - N_0], \ u_r = \frac{R}{E_0 l}[2\pi R k(u - u_r) - v_0 N_0] \quad (18)$$

Охирги боғлиқликни қуйидаги кўринишга келтирамиз

$$u_r = \beta u - R\overline{N}_0, u_z^I = \beta_1 \overline{N}_0 - \frac{v_0 u_r}{R}, \tag{19}$$

Бу ерда $\beta = \frac{2\pi R^2 k}{E_0 l + 2\pi R^2 k}$, $\beta_1 = \frac{1 - v_0 + v_0^2(1-\beta)}{v_0(1-\beta)}$, $\overline{N}_0 = \frac{v_0 N_0}{\boldsymbol{E_0 l} + 2\pi R^2 k,}$

(11) тенглама қобиқнинг силжиши u_r(19) ёрдамида олингандан кейин қуйидаги кўринишга келади

$$a u^{II} - b_1 u = c_1 \tag{20}$$

Буерда $b_1 = b + k\beta, c_1 = c + kR\overline{N}_0$

$u^I(0) = 0$ симметрия шартини қаноатлантирувчи (18) тенгламани умумий ечимини қуйиидаги кўринишга келтириш мумкин $\boldsymbol{\lambda} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{b_1}}{\boldsymbol{a}}}$.

$$u = Ach(\lambda z) + \frac{c_1}{b_1} \tag{21}$$

бу ерда A – ихтиёрий доимийлик. Қатламнинг ўқ бўйлаб силжиши (5) тенгламани ечими билан аниқланади. Шу нарсани эсдан чиқармаслик керакки бу ерда ҳам $U_z(0) = 0$ симметрия шарти қаноатлантирилади [7].

Шу ҳолатни англаган ҳолда

$$\mathrm{U_z} = -\frac{2\mathrm{R}}{(\mathrm{R}^2 - \mathrm{R}_0^2)}\left[\frac{\mathrm{A}}{\lambda}\mathrm{sh}\lambda\mathrm{z} - \frac{\mathrm{c}_1}{\mathrm{b}_1}\mathrm{z}\right], \tag{22}$$

Бу ерда A ихтиёрий доимийликни аниқлаш қирқимдаги четки шартлардан $z = \pm l/2$ 2 та холатдаги шартни кўриб чиқамиз.

1. $z = \pm l/2$ қирқим кучланишдан холи ёки қуйидаги шарт бажарилади $\sigma_z = 0$. Шуни билган ҳода (8) формуладаги $z = \pm l/2$ да ҳолат учун $u = 0$. Бу шартни қаноатлантирувчи (18) тенгламани ечими қуйидаги кўринишга келади

$$u = \frac{c_1}{b_1}\left[1 - \frac{ch\lambda z}{ch\left(\frac{\lambda l}{2}\right)}\right], \tag{23}$$

(6) ва (19) формулаларга асосан тишли цилндрнинг узунлигидаги радиал ва цилиндр асосидаги ўқ бўйлаб силжиш қуйидаги қонун бўйича тақсимланади

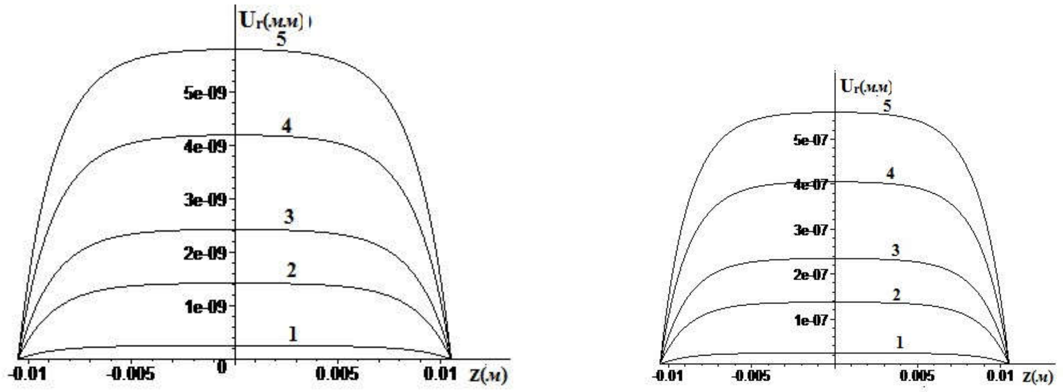
$$U_r = \frac{R}{(R^2 - R_0^2)}\frac{(r^2 - R_0^2}{r}\frac{c_1}{b_1}\left[1 - \frac{ch\lambda z}{ch\left(\frac{\lambda l}{2}\right)}\right] \tag{24}$$

$$U_z = \frac{2R}{(R^2 - R_0^2)}\frac{c_1}{b_1}\left[z - \frac{sh\lambda z}{\lambda sh\left(\frac{\lambda l}{2}\right)}\right] \tag{25}$$

(24) ва (25) формулалардан шу нарсани билиш мумкинки, резинанинг ўқ бўйлаб силжишидаги сиқилмайдиган шарти радиал координатага боғлиқ эмас. 4- расмда тишли цилиндр ўқи бўйлаб унинг икки хил ҳаракат тезлигига боғлиқ равишда радиал силжишнинг тақсимланиши келтирилган.

Тишли цилиндр ўқи бўйлаб унинг икки хил ҳаракат тезлигига боғлиқ равишда ўқ йўналган силжишнинг тақсимланиши қуйидагича бўлади:

$$n = 8.5\frac{айл}{мин} \qquad n = 85\frac{айл}{мин}$$



4- расм. Тишли цилиндр ўқи бўйлаб унинг икки хил ҳаракат тезлигига боғлиқ равишда радиал силжишни тақсимланиши**.**

$$1-r=0.4R\,,\ 1-r=0.4R\,.\ 2-r=0.5R\,,\ 3-r=0.6R\,,\ 4-r=0.8R\,,\ 5-r=R$$

Хулоса. Механизмларда ишлатиладиган тишли цилиндрларнинг таркибли қилиб тайёрлаш ва уларнинг динамик ечимини излаш механизмларнинг ишлаш қобилиятини оширади. Кучларга боғлиқ барча параметрларни ҳисобга олиш орқали механизмларни лойиҳалаш яхши самара беради. Бундай динамик таҳлил муҳандис-конструкторларнинг асосий шарти бўлиши лозим.

АДАБИЁТЛАР

1. Бидерман В.Л. Вопросы расчета резиновых деталей.М.: Машиностроение, г. 2017. 327-328 с.
2. Пономарев С.Д. Расчеты на прочность в машиностроении. Т.II. М., Машиностроение1958. 544 с.
3. Потураев Н. Резиновые и резинометаллические детали машин.М.: Машиностроение,1966. 289 с.
4. Арнольд В. И. Математические методы классической механики. М.: Наука, 1974.- 432 с.
5. Болотин, В.В. Механика многослойных конструкций / В.В. Болотин, Ю.Н. Новичков. М.: Машиностроение, 1980. – 127-129 с.
6. Григоренко, Я.М. Задачи статики анизотропных неоднородных оболочек / Я.М. Григоренко, А.Т. Василенко. М.: Наука, 1992. – 214-219с.
7. Крысько, В.А. Устойчивость и колебания неоднородных оболочек / В.А. Крысько, Н.А. Куцемако // Саратов: Изд-во Сарат. гос. ун-та, 1999. 132-133 с.