

**MATERIALLAR SARFINI KAMAYTIRISH VA MUSTAHKAMLIKNI OSHIRISH
MAQSADIDA POG'ONALI USTUNLARNING TAHLILI****Abdullayeva Dildora Anvarovna***Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti,
Oliy matematika va axborot texnologiyalari kafedrası katta o'qituvchi*

Annotatsiya. *Mazkur maqolada mashinasozlik, qurilish va gidrotexnika sohalarida keng qo'llaniladigan pog'onali sterjenli (ustunli) tizimlarning statik holati, ya'ni ularning o'z og'irligi va tashqi kuchlar ta'sirida yuzaga keladigan bo'ylama kuchlar, kuchlanishlar va deformatsiyalar ilmiy-nazariy hamda amaliy jihatdan tahlil qilinadi. Nazariy qismda strukturaviy elementlarning og'irligi hisobga olingan holda kuchlanish va cho'zilishlarni aniqlashga doir formulalar ishlab chiqilgan. Amaliy misolda esa turli kesimdagi pog'onali ustun uchun har bir segment bo'yicha yuklanish va deformatsiyalar aniqlanib, ep'yuralar orqali grafik baholashlar berilgan. Tadqiqotda maksimal kuchlanishlar ruxsat etilgan chegaralardan oshmasligi isbotlangan va optimal kesim yuzalari aniqlanib, material sarfini kamaytirish bilan birga mustahkamlikni ta'minlovchi yechimlar taklif qilingan. Ushbu ilmiy ishning yangiligi shundaki, unda xususiy og'irlikni inobatga olgan holda har bir pog'ona segmental yondashuv asosida alohida tahlil qilingan va bu amaliy loyihalash uchun yuqori aniqlikdagi algoritmik yechimlar bilan boyitilgan.*

Annotation. *This article presents a theoretical and practical analysis of the static behavior of stepped rod (column) systems, which are widely used in mechanical engineering, construction, and hydraulic engineering, under the influence of their own weight and external forces. In the theoretical part, formulas were developed to determine stresses and elongations by taking into account the self-weight of structural elements. In the practical example, load distributions and deformations were calculated for each segment of a stepped column with varying cross-sections, and graphical evaluations were carried out using epures. The study demonstrated that the maximum stress does not exceed the permissible limit, and optimal cross-sectional areas were determined to ensure structural strength while minimizing material usage. The scientific novelty of this research lies in the detailed segment-by-segment analysis of the effects of self-weight, which is often overlooked, and the development of a high-accuracy algorithmic solution applicable to real-world structural design.*

Kalit so'zlar: *pog'onali sterjen, bo'ylama kuch, deformatsiya, kuchlanish, strukturaviy tahlil, og'irlik kuchi, ep'yura, optimal kesim, materiallar qarshiligi, amaliy hisoblash, algoritmik yechim, statik holat, segmental yondashuv, mashinasozlik, qurilish konstruksiyalari.*

Keywords: *stepped rod, axial force, deformation, stress, structural analysis, self-weight, epure, optimal cross-section, strength of materials, practical calculation, algorithmic solution, static condition, segmental approach, mechanical engineering, construction structures.*

Mashinasozlik, qurilish, gidrotexnika va boshqa ko'plab texnik sohalarda strukturaviy elementlar sifatida ishlatiladigan sterjenlar, ustunlar yoki tirgaklar (kolonnalar) o'zining og'irligi va tashqi kuchlar ta'sirida kuchlanish va deformatsiyalarga uchraydi. Ana shunday elementlarning kuchlanish-holatini aniqlashda xususiy og'irlik (ya'ni o'z vazni) ta'sirini hisobga

olish materiallar qarshiligi fanining muhim yo'nalishlaridan biridir. Aksariyat hollarda, hisob-kitoblar faqat tashqi kuchlarga asoslangan holda amalga oshiriladi, biroq balandligi katta bo'lgan konstruksiyalar (masalan, ustunlar yoki minoralar) uchun **xususiy og'irlikdan hosil bo'ladigan kuchlanish va deformatsiyalarni inobatga olish zarur** bo'ladi. Bu bo'limda sterjenlarning o'z og'irligi ta'sirida qanday kuchlar va cho'zilishlar vujudga kelishini tahlil qilish uchun nazariy asoslar yoritiladi.

Sterjen og'irlik kuchi ta'sirida deformatsiyaga uchraydi, ya'ni siqiladi yoki cho'ziladi. Bu holat statik muvozanat tenglamalari asosida tahlil qilinadi. Sterjenni vertikal holatda deb olamiz va uni yuqoridan erkin osilgan deb faraz qilamiz.

Vertikal holatda o'rnatilgan sterjenlar, ayniqsa, baland ustunlar va ko'p qavatli konstruksiyalar uchun o'z og'irligi sezilarli darajada kuchlanishlarga olib keladi. Bu holatda, sterjenning har bir nuqtasidagi bo'ylama kuch yoki normal kuch quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

Sterjenning har bir kesimidagi bo'ylama kuch (normal kuch) quyidagicha ifodalanadi:

$$G(z) = \gamma \cdot (l - z) \cdot A$$

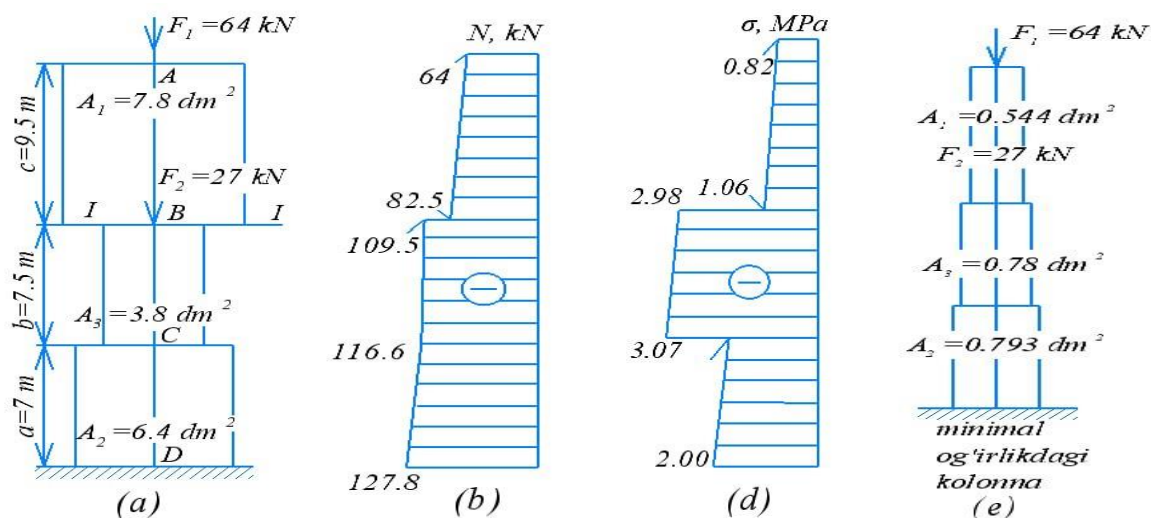
Bu yerda

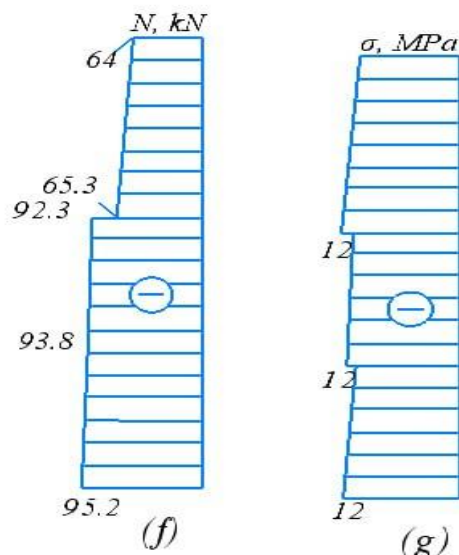
$G(z)$ – z nuqtadagi normal kuch, γ – materialning og'irlik zichligi, A – kesim yuzi, l – sterjen uzunligi, z – pastki uchdan hisoblangan balandlik;

Normal kuchlar og'irlik kuchi bilan pastdan yuqoriga qarab kamayib boradi. Eng katta kuch pastki nuqtada kuzatiladi va maksimal normal kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

Agar sterjenning ko'ndalang kesimi doimiy bo'lsa va materiali bir jinsli bo'lsa, u holda og'irlik ta'sirida hosil bo'ladigan normal kuchlanishlar sterjenning balandligiga proporsional tarzda o'zgaradi. Vertikal joylashgan sterjen uchun har bir nuqtadagi normal kuchlanish quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

Sterjenning xususiy og'irligidan hosil bo'ladigan kuchlanish, agarda uning ko'ndalang kesimi o'zgarmas bo'lsa, uning materiali va uzunligiga bog'liq bo'ladi. Hosil bo'lgan umumiy kuchlanish esa tashqi kuchlar va xususiy og'irlikdan hosil bo'ladigan kuchlanishlar yig'indisiga teng bo'ladi.





Sterjenning xususiy og'irligidan va tashqi kuchlar ta'sirida elastik deformatsiyaga uchraydi. Bu deformatsiyalarni aniqlash uchun elastiklik nazariyasi qo'llaniladi. Hosil bo'ladigan deformatsiya ham uning uzunligi bo'ylab o'zgaruvchan bo'ladi. Uzunligi l ga teng bo'lgan sterjenning tashqi F kuch va xususiy og'irligidan hosil bo'ladigan absolyut uzayish quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot A} + \frac{G \cdot l}{2EA}$$

Bu yerda

Δl — umumiy cho'zilish, E — elastiklik moduli, F — tashqi kuch, G — sterjen og'irligi;

Bu ifoda o'z og'irligi va tashqi kuchlar ta'sirida hosil bo'ladigan deformatsiyalarni aniq baholash imkonini beradi.

Strukturaviy elementlarning, xususan, sterjenlarning o'z og'irligi ta'sirida yuzaga keladigan kuchlanish va deformatsiyalarni hisobga olish zarurati nazariy jihatdan yuqorida asoslab berildi. Bu holat ayniqsa, **pog'onali ustunlar, baland qurilish elementlari, gidrotexnik inshootlar, temir yo'l ustunlari** yoki **minora singari inshootlar** uchun dolzarbdir.

Nazariy modelga muvofiq, vertikal holatda o'rnatilgan sterjenlar o'z og'irligi bilan pastki qismga kuch berib, **har bir nuqtada bo'ylama kuchlarning z ko'rinishida kamayishini** ta'minlaydi. Aynan shu holat amaliy masalada ham kuzatiladi.

Masala sifatida ko'rib chiqilgan **pog'onali betondan yasalgan ustun** strukturaviy tahlil uchun mukammal namuna bo'lib xizmat qiladi. Ustun uchta segmentdan iborat bo'lib, har bir segment uzunligi, materiali, og'irligi va ko'ndalang kesimi bilan ajralib turadi. Har bir segmentda o'ziga xos bo'lgan kuchlanishlar, og'irliklar va deformatsiyalar mavjud bo'lib, ularni nazariy formulalar asosida hisoblash orqali quyidagi ilmiy jihatlar tasdiqlanadi:

Masala. Pog'onali betondan qilingan ustun ($\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, $E = 27 \text{ GPa}$) F_1 , F_2 va o'zining xususiy og'irligi ta'sirida bo'lsin. Quyidagilarni aniqlash talab qilinadi:

- 1) Ustunning mustahkamligini tekshirish
- 2) Har bir qismidagi kolonna ko'ndalang kesimining (A_1, A_2, A_3) mo'tadil qiymatini aniqlash;
- 3) $I - I$ kesimning ko'chini aniqlash

Yechish. Ustunning har bir bo'lagi og'irligini aniqlaymiz ($G = \gamma \cdot l \cdot A$)

$$G_1 = 25000 \cdot 7,8 \cdot 10^{-2} \cdot 9,5 = 18,5 \cdot 10^3 N = 18,5 kN;$$

$$G_2 = 25000 \cdot 6,4 \cdot 10^{-2} \cdot 7 = 11,2 \cdot kN$$

$$G_3 = 25000 \cdot 3,8 \cdot 10^{-2} \cdot 7,5 = 7,1 kN$$

ustunning har bir segmentida bo'ylama kuch z koordinata o'qiga nisbatan kamayib boradi. Masaladagi natijalarda ham yuqoridan pastga qarab normal kuchlar (N_1, N_2, N_3) ortib borishi kuzatilgan.

Ustun segmentdagi bo'ylama kuch qiymatlarni aniqlaymiz:

$$N_1 = F_1 - \gamma A_1 z_1 \quad 0 \leq z_1 \leq c.$$

$$N_{I_{x_1=0}} = -F_1 = -64 kN \quad N_{I_{z_1=0}} = -64 - 18,5 = 82,5 kN.$$

$$N_2 = F_1 - F_2 - \gamma A_2 z_2 \quad 0 \leq z_2 \leq b.$$

$$N_{II_{x_2=0}} = -109,5 kN \quad N_{II_{b_2=0}} = -64 - 27 - 18,5 - 7,1 = 116,6 kN.$$

$$N_3 = F_1 - F_2 - G_1 - G_3 - \gamma A_3 z_3; \quad 0 \leq z_3 \leq a.$$

$$N_{III_{z_3=a}} = -116,6 - 11,2 - 127,8 kN; \quad N_{III_{x_3=0}} = -116,6 kN;$$

Topilgan qiymatlar bo'yicha bo'ylama kuch epyuralarini quramiz. (1-rasm.b).

Nazariy asosga muvofiq, har bir kesimda yuzaga keladigan kuchlanish kesimlarda hosil bo'ladigan normal kuchlanishlar quymatini $\sigma = \frac{N}{A}$ ifoda yordamida aniqlab uning epyurasini quramiz. (1-rasm.d).

Sterjenning maksimal kuchlanishi pastki nuqtada hosil bo'lib, u to'g'ridan-to'g'ri uning uzunligiga bog'liq. Agar sterjen ko'ndalang kesimi bo'yicha bir xil va materiali bir jinsli bo'lsa, normal kuchlanishlar har bir nuqtada balandlik bo'yicha chiziqli o'zgaradi.

Shuningdek, tashqi kuchlar va xususiy og'irlikdan hosil bo'ladigan kuchlanishlar yig'indisi umumiy kuchlanishni hosil qiladi:

Amaliy misolda maksimal kuchlanish, eng katta normal kuchlanish ikkinchi qismning oxirgi kesimida hosil bo'lar ekan. Ya'ni,

$$\sigma_{max} = 3,07 MPa < [\sigma] = 12 MPa.$$

deb topilib, ruxsat etilgan chegaradan past ekanligi (12 MPa) isbotlangan.

Nazariyada og'irlikni kamaytirish va kuchlanishni chegarada ushlash uchun mo'tadil kesim yuzasini hisoblash tavsiya etilgan. Amaliy misolda bu yondashuv asosida A_1, A_2 va A_3 kesim yuzalari hisoblab topilgan, natijada material sarfi kamaygan va struktura optimal holatga keltirilgan.

Og'irligi eng kam miqdorga teng bo'lgan (mo'tadil) ustunning o'lchamlarini $\sigma_{max} = [\sigma]$ dan foydalangan holda aniqlaymiz. Yechimni ustunning yuqori qismidan boshlaymiz.

$$\frac{N_{1max}}{A_1} = \frac{F_1 + \gamma \cdot A_1 \cdot c}{A_1} \geq [\sigma].$$

$$\text{Bunda, } A_1 \geq \frac{F_1}{[\sigma] - \gamma c} = \frac{64000}{12 \cdot 10^6 - 25000 \cdot 9,5} = 5,44 \cdot 10^{-3} m^2 = 0,544 dm^2.$$

U holda, I qismning mo'tadil og'irligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$G_1 = 25000 \cdot 0,544 \cdot 10^{-2} \cdot 9,5 = 1,3 kN.$$

Xuddi shuningdek,

$$A_3 = \frac{F_1 + F_2 + G_1}{R - \gamma \cdot b} = 0,781 dm^2; \quad G_3 = 1,5 kN$$

$$A_2 = \frac{F_1 + F_2 + G_1 \cdot G_3}{R - \gamma \cdot a} = 0,793 dm^2; \quad G_2 = 1,4 kN.$$

I-I kesimning ko'chishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta_{I-I} = \Delta l_a + \Delta l_b$$

$$\text{Unda } \Delta l_b = \frac{(F_1 + F_2 + G_1 + G_3 + \frac{G_2}{2})a}{E \cdot A_3}; \text{ bu yerda } \Delta l_b = 3,31 mm.$$

U holda, $\Delta_{I-I} = 3,09 + 3,31 = 6,4 mm$ natijasi olingan – bu og'irlik ta'sirida yuzaga kelgan elastik deformatsiyani ko'rsatadi. Pastga qarab cho'kadi.

Mashinasozlik, qurilish va gidrotexnika sohalarida keng qo'llaniladigan pog'onali sterjenli (ustunli) tizimlar uchun **o'z og'irligi va tashqi kuchlar ta'sirida yuzaga keladigan bo'ylama kuchlar va deformatsiyalarni aniqlash** masalasi ilmiy asosda o'rganildi.

Nazariy qismda **o'z og'irlik ta'sirida deformatsiyaga uchraydigan sterjenlarning** statik tahlili asosida tenglamalar chiqarildi va har bir kesimda yuzaga keladigan kuch va kuchlanishlar formulalar yordamida ifodalandi. Formulalari asosida bo'ylama kuchlar va deformatsiyalar aniqlanib, ularning balandlik bo'yicha o'zgarishi tahlil qilindi.

Amaliy misolda esa **pog'onali ustun uchun qat'iy fizik-parametrik qiymatlar** yordamida strukturaviy kuch tahlili bajarildi. Har bir segmentning og'irligi, bo'ylama kuchlari, kuchlanishlar, mo'tadil kesim yuzalari va umumiy cho'zilishi aniqlanib, grafik ep'yuralar asosida baholandi. Eng katta kuchlanishning ikkinchi qism oxirida hosil bo'lishi aniqlanib, bu kuchlanishning ruxsat etilgan chegaradan past ekani isbotlandi).

Bundan tashqari, optimal kesim yuzalari aniqlanib, **material sarfini kamaytirish va mustahkamlikni ta'minlash o'rtasida optimal yechimga erishildi**. Bu yondashuv konstruktsiyalarning iqtisodiy samaradorligini oshirish bilan birga, ularning ekspluatatsion ishonchligini ham kuchaytiradi.

Mazkur maqolada quyidagi **ilmiy yangiliklar** va amaliy natijalar keltirildi. **Sterjen tizimlarida xususiy og'irlik ta'sirining kuchlanish va deformatsiyalarga ta'siri aniq va bosqichma-bosqich hisoblangan**. Ilgari ko'pchilik holda e'tibor faqat tashqi kuchlarga qaratilgan bo'lsa, bu ishda strukturaviy elementlarning og'irligi ham tahlilga jalb qilindi. **Pog'onali, turli kesimli ustunlar uchun optimal kesim yuzalari analitik tarzda hisoblab chiqilgan**, bu esa real loyihalashda minimal og'irlik bilan maksimal mustahkamlikni ta'minlash imkonini beradi. **Sterjenning har bir segmenti uchun mustaqil kuch tahlili olib borilib, ularning umumiy deformatsiyasiga ta'siri baholangan**.

Ushbu yondashuv an'anaviy umumlashtirilgan modellarga nisbatan ancha aniqlikni oshiradi. **Amaliy masala asosida tayyorlangan algoritm strukturaviy elementlarning optimal parametrlarini hisoblash uchun universal yechim sifatida taklif etiladi**. Bu usulni boshqa ko'p segmentli konstruktsiyalarda ham qo'llash mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

11. M.Mirsaidov, Sh.Xudaynazarov, E.Abdimo'minov, B.Ashirov “Materiallar qarshiligidan misol va masalalar”. I-qism TOSHKENT-” 2019, 268 bet

12. Usmanqulov A., Ismayilov K., va boshq. “Materiallar qarshiligidan misol va masalalar”. II-qism (5340200-“Bino va inshoot qurilishi”) Toshkent «Mashhur-Press», 322 bet