

TURLI MATERIALLARDAN TASHKIL TOPGAN STERJENLI SISTEMALARDA ICHKI KUCH VA DEFORMATSIYA HOLATINING ANALITIK O'RGANILISHI**Ikromov Sunnatillo Nodir o'gli***Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti,
Oliy matematika va axborot texnologiyalari kafedrası assistenti*

Annotatsiya. *Maqolada turli elastiklik moduliga ega bo'lgan, ikki tomonidan mahkamlangan va bo'ylama bo'linmalardan iborat sterjenli sistemaning statik va deformatsion holati chuqur tahlil etildi. Tashqi kuchlar ta'sirida ishlayotgan bunday sistemalar statik noaniqlikka ega bo'lib, ularni yechishda faqatgina muvozanat tenglamalari yetarli bo'lmaydi. Shuning uchun masala deformatsion yondashuv asosida yechildi, ya'ni uzayishlarning yig'indisi nolga teng bo'lishi haqidagi moslik tenglamasi yordamida noma'lum reaksiya kuchi aniqlandi.*

Tadqiqot doirasida turli uzunlik va materialga ega uchta sterjen uchastkalari po'lat va alyuminiy bo'yicha ichki kuchlar, normal kuchlanishlar, cho'zilish va qisqarish miqdorlari hisoblab chiqildi. Har bir element bo'yicha Hooke qonuni, kuchlanish-deformatsiya munosabatlari va geometrik parametrlar asosida analitik ifodalar ishlab chiqildi. Hisoblashlarda materiallarning elastiklik moduli va ruxsat etilgan kuchlanish chegaralari inobatga olinib, zarur bo'lgan ko'ndalang kesim yuzalari aniqlandi.

Annotation. *This article presents an in-depth analysis of the static and deformational behavior of a bar system composed of segments with different elastic moduli and fixed at both ends. Such systems, when subjected to external forces, exhibit static indeterminacy, which cannot be resolved using equilibrium equations alone. Therefore, a deformation-based approach was applied, where the compatibility condition-that the total elongation must be zero-was used to determine the unknown reaction force.*

Within the scope of the study, internal forces, normal stresses, elongation, and contraction values were calculated for three bar segments of varying lengths and materials-steel and aluminum. For each segment, analytical expressions were derived based on Hooke's law, stress-strain relationships, and geometric parameters. In the calculations, the elastic moduli and permissible stress limits of the materials were considered, and the required cross-sectional areas were determined accordingly.

Kalit so'zlar: *statik noaniqlik, deformatsion yondashuv, sterjenli sistema, elastiklik moduli, muvozanat tenglamasi, moslik tenglamasi, normal kuchlanish, cho'zilish, qisqarish, Hooke qonuni, po'lat, alyuminiy, ichki kuch, kesim yuzasi, materiallar qarshiligi.*

Key words: *static indeterminacy, deformation approach, bar system, modulus of elasticity, equilibrium equation, compatibility equation, normal stress, elongation, contraction, Hooke's law, steel, aluminum, internal force, cross-sectional area, strength of materials.*

Muhandislik amaliyotida turli kuchlar ta'sirida ishlovchi sterjenli konstruksiyalarni mustahkamlik va ishonchlilik nuqtai nazaridan tahlil qilish muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, har xil materiallardan tayyorlangan va bir necha qismdan iborat sterjenli sistemalarning deformatsion va kuchlanish holatini aniqlash ko'plab konstruksion

masalalarning asosini tashkil etadi. Bunday sistemalar mashinasozlik, qurilish, aerokosmik va mexatronik qurilmalarda keng qo'llaniladi.

Ikki tomonidan mahkamlangan sterjenlarga tashqi kuchlar ta'sir ettirilganda, ularning statik holatdagi muvozanatini aniqlash uchun faqatgina statik tenglamalar yetarli bo'lmayligi mumkin. Bu kabi hollarda masala statik noaniq bo'lib, ularni yechish uchun deformatsion yondashuv talab etiladi. Masalaning bunday tahlili materiallar qarshiligi fanining asosiy tamoyillariga tayanadi, xususan, Hooke qonuni, uzayish formulasidan va kuchlanish holatining differensial tahlilidan foydalaniladi.

Mazkur ishda ikki tomonidan mahkamlangan, turli elastiklik moduliga ega bo'lgan (po'lat va alyuminiy) sterjenli sistemaga ikki xil tashqi kuch ta'sir qilganda yuzaga keladigan ichki reaksiya kuchlari, normal kuchlanishlar, absolyut deformatsiyalar va ularning taqsimoti (epyuralari) o'rganiladi. Masala 1-darajali statik noaniq bo'lib, uni yechish uchun umumiy uzayish nolga teng bo'lishi kerak degan shart asosida qo'shimcha geometriya (moslik) tenglamasi tuziladi. Bu tenglama deformatsiyalar yig'indisini nolga tenglashtirish orqali noma'lum reaksiya kuchlarini aniqlash imkonini beradi.

Bundan tashqari, hisoblashlarda materiallarning ruxsat etilgan kuchlanish chegaralari va elastiklik modullari inobatga olingan holda, sterjenning ko'ndalang kesim yuzalari aniqlanadi. Har bir uchastkadagi kuchlanishlar va deformatsiyalar aniqlanib, ularning grafik tasvirlari - kuch va cho'zilish epyuralari quriladi. Ushbu masalaning tahlili nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham katta ahamiyatga ega bo'lib, real qurilmalardagi zo'riqish holatini bashorat qilish, material tanlash va konstruktiv yechimlarni ishlab chiqishda muhim rol o'ynaydi.

Yuqorida keltirilgan nazariy asoslar real konstruksion masalalarni tahlil qilishda qo'llaniladi. Ushbu ilmiy yondashuvni konkret masalaga nisbatan qo'llash orqali, ikki tomonidan mahkamlangan va har xil materiallardan iborat sterjenli sistemaga ta'sir qilayotgan tashqi kuchlar ostida yuzaga keladigan ichki kuchlar va deformatsiyalarni aniqlash mumkin.

Ko'rib chiqilayotgan masalada, uchta turli uzunlikdagi va ikki xil materialdan (po'lat va alyuminiy) tashkil topgan sterjenli sistema mavjud bo'lib, unga $F_1 = 200 \text{ kN}$ va $F_2 = 110 \text{ kN}$ tashqi kuchlar ta'sir qiladi. Sterjen uchastkalari quyidagi parametrlar bilan tavsiflanadi:

A uchastka: uzunligi $a = 0,4 \text{ m}$, materiali - po'lat;

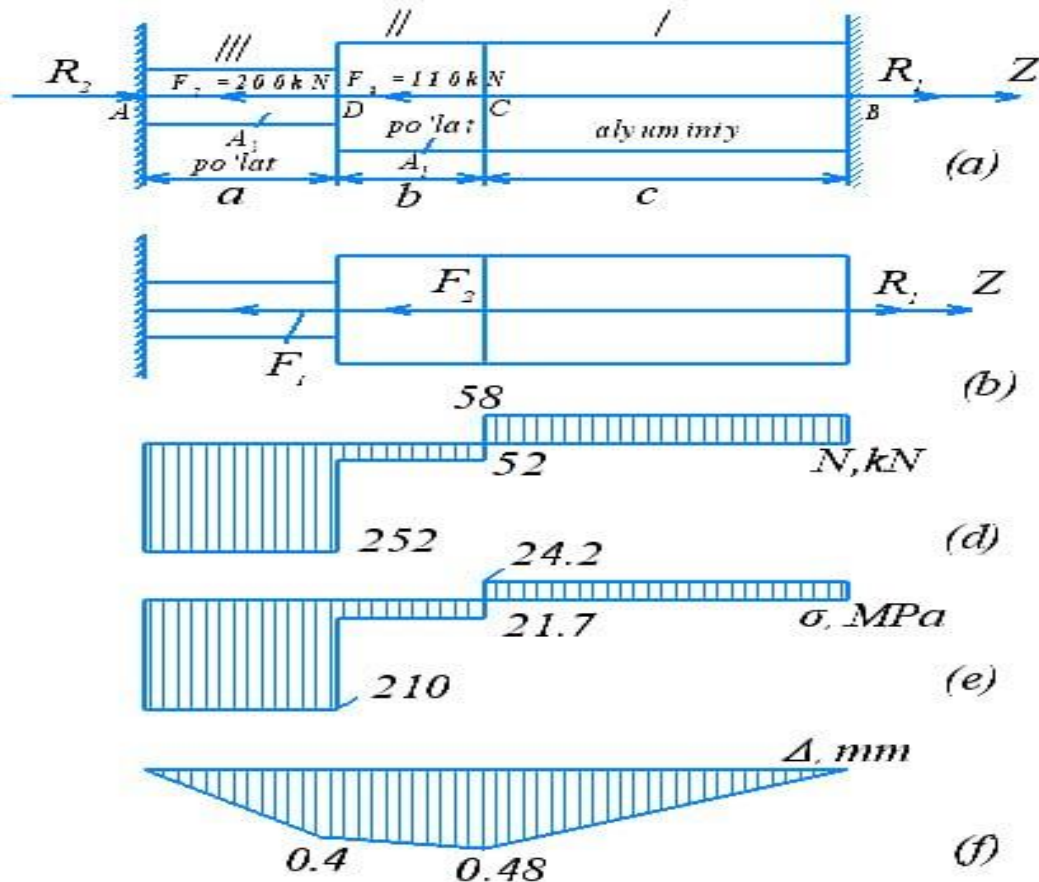
B uchastka: uzunligi $b = 0,8 \text{ m}$ materiali - po'lat;

C uchastka: uzunligi $c = 1,4 \text{ m}$ materiali - alyuminiy.

Materiallarning fizik-mexanik xossalari quyidagicha berilgan:

Po'lat uchun: $E_p = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, ruxsat etilgan kuchlanish $[\sigma]_p = 210 \text{ MPa}$

Alyuminiy uchun: $E_{al} = 7 \cdot 10^4 \text{ MPa}$ ruxsat etilgan kuchlanish $[\sigma]_{al} = -150 \text{ MPa}$.



Yechish.

Mumkin bo'lgan statika tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum z = 0; R_1 + R_2 - F_1 - F_2 = 0.$$

Masalaning statik noianiqlik darajasini aniqlaymiz:

$S = m - n = 2 - 1 = 1$. Demak, masala bir marta statik noaniq, masalaniqo'shimcha dformatsiya tenglamasiz yechish mumkin emas.

Qo'shimcha tenglama quyidagi ko'rinishhga ega bo'ladi:

$$\Delta l = \Delta l_a + \Delta l_b + \Delta l_c = 0 \quad (a)$$

Sterjemning o'ng tomonidagi bog'lanishni tashlab yuborib, uning ta'sirini R_1 orqali ifodalaymiz. (1-rasm. b.). Shunda har bir uchastkada hosil bo'ladigan absolyut uzayishlar teng bo'ladi:

$$\Delta l_a = \frac{(-F_1 - F_2 + R_1) \cdot 0,4}{E_p \cdot A_2}$$

$$\Delta l_b = \frac{(-F_2 + R_1) \cdot 0,8}{E_p \cdot A_1}$$

$$\Delta l_c = \frac{R_1 \cdot 1,4}{E_{al} \cdot A_1}$$

Bu qiymatlarni (a) ga qo'ysak:

Bu yerda, $A_1 = 2A_2$; $E_p = 3E_{al}$ ekanligini e'tiborga olsak:

$$\frac{(-310 + R_1)0,4}{3E_{al} \cdot A_2} + \frac{(-F_2 + R_1) \cdot 0,8}{E_p \cdot A_1} + \frac{R_1 \cdot 1,4}{E_{al} \cdot A_1} = 0;$$

Bu yerda, $A_1 = 2A_2$; $E_p = 3E_{al}$ ekanligini e'tiborga olsak:

$$\frac{(-310 + R_1)0,4}{3E_{al} \cdot A_2} + \frac{(-110 + R_1) \cdot 0,8}{3E_{al} \cdot 2A_2} + \frac{R_1 \cdot 1,4}{E_{al} \cdot 2A_2} = 0$$

Bu tenglamadan $R_1 = 58 \text{ kN}$ ga teng ekanligini aniqlanadi.

Shunday qilib, masala statikaniq masalaga aylandi. Bu masala uchun bo'ylama kuch epyurasi 1-rasm (d) da keltirilgan.

Sterjenning ko'ndalang kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$A_2 \geq \frac{N_a}{[\sigma]_p} = \frac{252000}{210 \cdot 10^6} = 12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2. \text{ Unda } A_1 = 24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2.$$

Har bir uchastka uchun $\sigma = \frac{N}{A}$ ifodadan kesimlarda bo'ladigan normal kuchlanish qiymatlarini aniqlaymiz va uni epyurasini ko'ramiz: (1-rasm. e).

Sterjenning abvsolyut deformatsiyasi epyurasini ko'rish uchun uning C va D kesimlari deformatsiyasini aniqlash kifoyadir, chunki A va B kesimlarda Δ_A va Δ_B lar nolga teng.

$$\Delta l_c = \frac{N_1 c}{E_{al} \cdot A_2} = \frac{5800 \cdot 1,4}{7 \cdot 10^{10} \cdot 24 \cdot 10^{-4}} = 0,48 \text{ mm (cho'zilyapti)}$$

$$\Delta l_a = \frac{N_3 a}{E_p \cdot A_2} = \frac{-252000 \cdot 1,4}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 12 \cdot 10^{-4}} = 0,4 \text{ mm (qisqaryapti)}$$

Topilgan qiymatlar bo'yicha Δ epyurasini quramiz. (1-rasm. f)

Statik tahlil natijasida masala birinchi darajali statik noaniq bo'lib, bu holat deformatsion tenglama kiritilishini talab etadi. Uzunliklar va elastiklik modullari asosida har bir uchastkadagi cho'zilish (yoki qisqarish) aniqlanadi. Ularning umumiy yig'indisi nolga teng deb qaraladi ya'ni, bog'langan holatdagi umumiy uzunlik o'zgarmasligi sharti.

Qo'shimcha tenglama asosida noma'lum reaksiya kuchi R_1 aniqlanib, masala to'liq statik aniqlikka ega bo'lgan ko'rinishga keltiriladi. Shundan so'ng sterjenning har bir uchastkasida hosil bo'ladigan normal kuchlanishlar va ularning bo'ylama kesim yuzasi orqali aniqlanadigan deformatsiyalar tahlil qilinadi. Har bir element uchun quyidagi bog'lanishlar ishlatiladi:

Natijalari ko'rsatadiki, statik noaniq holatdagi sterjenli sistemalarni baholashda deformatsion yondashuv muhim nazariy va amaliy ahamiyatga ega. Bu yondashuv konstruksiyaning umumiy geometriyasini, material xossalarini va tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda, ichki kuchlar va deformatsiyalarni aniqlash imkonini beradi. Tadqiqot davomida qo'llanilgan matematik modellashirish usuli va yechim algoritmlari murakkab konstruksiyalarni loyihalashda aniqlik, barqarorlik va xavfsizlik mezonlariga asoslangan texnik qarorlar qabul qilishda qo'llanishi mumkin. Shuningdek, sterjenli elementlar uchun optimal kesim yuzasini aniqlash orqali material sarfini kamaytirish va tizim ishonchliligini oshirish imkoniyati yaratiladi. Bu kabi ilmiy tahlillar muhandislik amaliyotida konstruksion elementlarni ilg'or loyihalash va baholashda hal qiluvchi rol o'ynaydi.

Muhandislik amaliyotida turli kuchlar ta'sirida ishlovchi sterjenli konstruksiyalarni mustahkamlik va ishonchlilik nuqtai nazaridan tahlil qilish muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, har xil materiallardan tayyorlangan va bir necha qismdan iborat sterjenli sistemalarning deformatsion va kuchlanish holatini aniqlash ko'plab konstruksion

masalalarning asosini tashkil etadi. Bunday sistemalar mashinasozlik, qurilish, aerokosmik va mexatronik qurilmalarda keng qo'llaniladi.

Ikki tomonidan mahkamlangan sterjenlarga tashqi kuchlar ta'sir ettirilganda, ularning statik holatdagi muvozanatini aniqlash uchun faqatgina statik tenglamalar yetarli bo'lmayligi mumkin. Bu kabi hollarda masala statik noaniq bo'lib, ularni yechish uchun deformatsion yondashuv talab etiladi. Masalaning bunday tahlili materiallar qarshiligi fanining asosiy tamoyillariga tayanadi, xususan, Hooke qonuni, uzayish formulasidan va kuchlanish holatining differensial tahlilidan foydalaniladi.

Mazkur ishda ikki tomonidan mahkamlangan, turli elastiklik moduliga ega bo'lgan (po'lat va alyuminiy) sterjenli sistemaga ikki xil tashqi kuch ta'sir qilganda yuzaga keladigan ichki reaksiya kuchlari, normal kuchlanishlar, absolyut deformatsiyalar va ularning taqsimoti (epyuralari) o'rganiladi. Masala 1-darajali statik noaniq bo'lib, uni yechish uchun umumiy uzayish nolga teng bo'lishi kerak degan shart asosida qo'shimcha geometriya (moslik) tenglamasi tuziladi. Bu tenglama deformatsiyalar yig'indisini nolga tenglashtirish orqali noma'lum reaksiya kuchlarini aniqlash imkonini beradi.

Bundan tashqari, hisoblashlarda materiallarning ruxsat etilgan kuchlanish chegaralari va elastiklik modullari inobatga olingan holda, sterjenning ko'ndalang kesim yuzalari aniqlanadi. Har bir uchastkadagi kuchlanishlar va deformatsiyalar aniqlanib, ularning grafik tasvirlari – kuch va cho'zilish epyuralari quriladi. Ushbu masalaning tahlili nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham katta ahamiyatga ega bo'lib, real qurilmalardagi zo'riqish holatini bashorat qilish, material tanlash va konstruktiv yechimlarni ishlab chiqishda muhim rol o'ynaydi.

Yuqorida keltirilgan nazariy asoslar real konstruksion masalalarni tahlil qilishda qo'llaniladi. Ushbu ilmiy yondashuvni konkret masalaga nisbatan qo'llash orqali, ikki tomonidan mahkamlangan va har xil materiallardan iborat sterjenli sistemaga ta'sir qilayotgan tashqi kuchlar ostida yuzaga keladigan ichki kuchlar va deformatsiyalarni aniqlash mumkin.

Statik tahlil natijasida masala bir darajali statik noaniq bo'lib, bu holat deformatsion tenglama kiritilishini talab etadi. Uzunliklar va elastiklik modullari asosida har bir uchastkadagi cho'zilish (yoki qisqarish) aniqlanadi. Ularning umumiy yig'indisi nolga teng deb qaraladi (ya'ni, bog'langan holatdagi umumiy uzunlik o'zgarmasligi sharti).

Natijada, qo'shimcha tenglama asosida noma'lum reaksiya kuchi R_1 aniqlanib, masala to'liq statik aniqlikka ega bo'lgan ko'rinishga keltiriladi. Shundan so'ng sterjenning har bir uchastkasida hosil bo'ladigan normal kuchlanishlar va ularning bo'ylama kesim yuzasi orqali aniqlanadigan deformatsiyalar tahlil qilinadi.

Ushbu ish natijalari ko'rsatadiki, statik noaniq holatdagi sterjenli sistemalarni baholashda deformatsion yondashuv muhim nazariy va amaliy ahamiyatga ega. Bu yondashuv konstruksiyaning umumiy geometriyasini, material xossalarini va tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda, ichki kuchlar va deformatsiyalarni aniqlash imkonini beradi. Tadqiqot davomida qo'llanilgan matematik modellashirish usuli va yechim algoritmlari murakkab konstruksiyalarni loyihalashda aniqlik, barqarorlik va xavfsizlik mezonlariga asoslangan texnik qarorlar qabul qilishda qo'llanishi mumkin. Shuningdek, sterjenli elementlar uchun kesim yuzasini aniqlash orqali material sarfini kamaytirish va tizim ishonchliligini oshirish imkoniyati

yaratiladi. Bu kabi ilmiy tahlillar muhandislik amaliyotida konstruksion elementlarni ilg'or loyihalash va baholashda hal qiluvchi rol o'ynaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

5. M.Mirsaidov, Sh.Xudaynazarov, E.Abdimo'minov, B.Ashirov "Materiallar qarshiligidan misol va masalalar". I-qism TOSHKENT-" 2019, 268 bet
6. Usmanqulov A., Ismayilov K., va boshq. "Materiallar qarshiligidan misol va masalalar". II-qism (5340200-"Bino va inshoot qurilishi") Toshkent «Mashhur-Press», 322 bet