

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM FAN VA
INNOVATSIYA VAZIRLIGI**



**SAMARQAND DAVLAT ARXITEKTURA VA QURILISH
UNIVERSITETI**

**O.L.VERBITSKAYA
S.I.ZINEVICH
L.I.SHEVCHUK**

MATERIALLAR QARSHILIGI

**Qurilish mutaxassisliklari talabalari uchun laboratoriya ishlarini
bajarish bo'yicha o'quv qo'llanma**

Irisov Rahmon Avvalbekovich tarjimasini

2-qism

Samarqand – 2025

UO'K 539.3/.6 (075.8)
KBK 30.121ya73
I 74

Ushbu o'quv qo'llanma rus tilidan o'zbek tiliga Irisov Rahmon Avvalbekovich tomonidan tarjima qilingan

O.L.Verbitskaya, S.I.Zinevich, L.I.Shevchuk. Materiallar qarshiligi. O'quv qo'llanma – Самарқанд. “Fan bulog'i” nashriyoti. 2025 – 81 bet.

O'quv qo'llanmaning tarkibidagi laboratoriya ishlari qurilish mutaxassisligi uchun materiallar qarshiligi bo'yicha namunaviy o'quv dasturiga moskeladi. Qurilma elementlarining deformasiyalanganlik va kuchlanganlik holatini tatqiqot usullari laboratoriya ishlarini bajarishda ishlatiladigan tatqiqot mashinalarining turlari keltirilgan. Har bir laboratoriya ishlarini bajarishdan maqsad, qisqacha nazariy ma'lumotlar, tatqiqot qurilmasining harakat jarayoni va sxemasi, bajarish ketma – ketligi, tatqiqot natijalari jurnalidan namuna, nazorat savollari keltirilgan.

Laboratoriya ishlarini o'tkazish usullarini auditoriyadan tashqarida nazariy ma'lumotlarni egallash, jurnalni tayyorlash va uni to'ldirish, tatqiqotni o'tkazish hamda tajribadan olingan sanoqlarni qaytaishlash. Bu o'quv qo'llanmadan hamda o'qituvchi maslahatlaridan foydalangan holda, dinamik yuklarga va bo'ylama egilishga qarshilikning murakkab turlarini, statik aniqmas sistemalar uchun deformatsiyalanuvchi qattiq jism mexanikasi qonuniyatlarini talabalar o'rganishadi.

Ma'sul muharrir: – Fizika matematika fanlari doktori, dotsent **Xo'jabekov Murod O'sarovich**

Taqrizchilar:

- Andijon mashinasozlik instituti, “Umumtexnika fanlari” kafedrası dotsenti f.m-f.n. **Komiljon Otabayev**
- “Qurilish mexanikasi va materiallar qarshiligi” kafedrası dotsenti, f-m.f.n. **Qahhorov Abdurazzoq**
- “Qurilish materiallari, buyumlari va konstruktsiyalari texnologiyasi” kafedrası dotsenti, t.f.n. **Shomurodov Baxtiyor Shoniyozovich**

ISBN 978-9910-689-66-6

© “Fan bulog'i” nashriyoti, 2025

*Ustozimiz Bahodir O'rmonovich To'ychiyev domlaning yorqin xotirasiga
bag'ishlanadi*

*"Qurilish mexanikasi va materiallar qarshiligi" kafedrası a'zolariga,
taqriz bergan ustozlarga, qo'lyozmani o'qib tahrir qilib kamchiliklarini
ko'rsatgan Eshmatov Husan domlaga va kompyuter ishlarida yordam
bergani uchun Abduxalikov Abduazizga muallif o'z minnatdorchiligini
bildiradi.*

KIRISH

Mustahkamlik va bikirlik bilan qurilma, mashina, mexanizm va inshootlar Belarus Respublikasi normativ hujjatlariga asosan hamda qurilishda birinchi darajali qiymatlarga ega bo'lishi hamda ta'minlangan bo'lishi shart. Qurilma yoki detallarni tayyorlash uchun materiallarning noto'g'ri tanlanishi, mashina detallari va mexanizmlarining noto'g'ri hisoblanishi, qurilish qurilmalari elementlarining yaroqsizlanishiga yoki qo'porilishiga olib keladi. Quyidagini ma'lum qilamizki, qurilish qurulma elementlarini hisoblash usulining yaroqliligi faqat tajribada tasdiqlanishi mumkin.

Materiallar qarshiligining ikkinchi qismidagi laboratoriya ishlari namunaviy o'quv dasturiga mos ravishda yozilgan. Materiallar qarshiligining hisoblash usullari hamda formulalarini tekshirish haqqoniyligi, kuchlanishning tarqalish xarakterini tatqiqotlash va qarshilikning murakkab turidagi deformasiya, barcha laboratoriya ishlari deformatsiyalanuvchi qattiq jism mexanikasi qonuniyatlariga bo'ysinadi.

Asosan, muhimi shundan iboratki, mashina va tatqiqot qurilmalari, asboblari, ayrim o'lchov anjomlarining ta'sir jarayonlari va ularning tuzilishi bilan tanishish, laboratoriya ishlarini bajarish jarayonida talabalar materiallarni tatqiqot usullarini o'rganadilar.

O'quv qo'llanma quyidagilardan iborat:

- laboratoriya ishlarida qo'llaniladigan tatqiqot mashinasi asboblari haqida ma'lumot;
- turli xil qarshilikka tatqiqotlanayotgan materiallardan tayyorlangan namuna to'g'risida ma'lumot.
- laboratoriya ishlarining bajarilishi haqida to'liq ma'lumot.
- har bir laboratoriya ishini bajarish bo'yicha hisobot yozish.
- laboratoriya ishlarini himoya qilish uchun nazorat savollari.
- materialni chuqurroq o'rganish uchun keltirilgan adabiyotlar ro'yxati.

Yangiliklar, materiallar qarshiligi bo'yicha bajarilgan laboratoriya ishlaridan olingan, mashinasozlik hamda turli hududdagi qurilishga kerakli bo'lgan mutaxassislar, qurilish qurilmalari elementlariga qo'yilgan, mashina va mexanizmlar turli xil ta'sirlarda hisoblash usullari asosan keyingi kurslarda o'tish uchun, ularning asosida vujudga keladi.

O'quv qo'llanma, Belorussiya milliy texnika dorulfununining «materiallar qarshiligi va elastiklik nazariyasi» kafedrasida ishlab chiqilgan ma'lumotlardan foydalanilgan hamda o'quv adabiyotlari ro'yxati keltirilgan.

TEXNIKA XAVFSIZLIGI

Talabalar materiallar qarshiligidan laboratoriya ishlarini bajarayotganda hayoti uchun xavfli va sog'ligi uchun zararli bo'lgan ishlab chiqarish oqibatlarini: elektr kuchlanishlar, tatqiqot mashinasining va qurilmalarining harakatlanuvchi qismi, o'tkir qirralari, namuna sirtining g'adir-budirligi va boshqa sabablar.

Laboratoriyada ishlatiladigan inson hayoti uchun xavfli yuqori kuchlanishga ega bo'lgan elektr tok zanjirlari, pol va stoldagi qurilmalar, qadoq toshlar bilan yuklanadigan, bor bo'lgan harakatlanuvchi ishchi detal.

Talaba jarohat olmasligi uchun quyidagi asosiy qoidalarga amal qilishi lozim:

1) Texnika xavf sizligi qoidalariga bo'ysinishi va talablarini bajarishi kerak.

2) O'qituvchi yoki laboratoriya xodimining ruxsatidan keyin laboratoriya ishlarini bajarishga kirishishi mumkin.

3) Mashinalar harakatda bo'lganda xona ichidagi bor bo'lgan mexanizm va boshqa laboratoriya o'rnatmalarini ishga tushirmaslik kerak.

4) Laboratoriya ishlarini bajarayotgan vaqtda ortiqcha gap so'z va harakatlar qilmaslik kerak.

5) Ishlayotgan vaqtda nosozlik bo'lsa zudlik bilan o'qituvchi yoki laboratoriya xodimiga yetkazish kerak.

6) Laboratoriya ishini bajarayotgan vaqtda qurilmalar bilan qaltis harakat qilmaslik kerak.

7) Mustaqil rubilniklarni qo'shmaslik, tatqiqot mashinasining tugmachasini bosmaslik, uskunaning vilkasini elektr rozetkasiga ulamaslik, tatqiqot qurilmasining richagini buramaslik, tatqiqotning xavfli zonalariga qo'lni solmaslik kerak.

Kafedra tomonidan ishlab chiqilgan mehnatni muhofaza qilish instruksiya bilan tanish ish va mehnatni muhofaza qilish jurnaliga qo'l qo'ygan talabalar laboratoriya ishini bajarish uchun ruxsat etiladi.

LABORATORIYA MASHG'ULOTLARINI O'TKAZISH TARTIBI

1) Navbatdagi laboratoriya ishlarini bajarishdan oldin talaba shu sohaga tegishli, ya'ni materiallar qarshiligi kursi bo'yicha darslik, qo'llanma hamda quyidagi yozilganlardan xabardor bo'lishi kerak.

2) Laboratoriya ishlarini bajarish uchun o'z navbatida laboratoriya ishlarining qarori bo'lishi kerak, keltirilgan hozirgi o'quv qo'llanmani namuna bo'yicha kserokopiya qilish kerak. Laboratoriya ishi qarorining yo'qligi va yetarli darajada tayyor bo'lmasa o'qituvchi talabani mashg'ulotga qo'ymaslikka haqqibor.

3) Kechiksa yoki darsni qoldirsa laboratoriya mashg'ulotlariga qo'yilmaydi. Bitta laboratoriya ishini qoldirsa o'quv rejani bajarmagan

hisoblanib baholanadi va talaba materiallar qarshiligi bo'yicha imtixonga qo'yilmaydi. Kafedra tomonidan ishlab chiqilgan o'zlashtirish grafigi bo'yicha o'rnatilgan tartib asosida talaba qoldirilgan laboratoriya mashg'ulotlarini qayta o'zlashtiradi.

4) Mashg'ulot o'qituvchining rahbarligida va laboratoriya muhandisi namunani tatqiqotdan o'tkazadi yoki tatqiqot qurilmasida mexanika qonuniyatlarini namoyish etadi, hech bo'lmaganda o'quv filmlari ko'rsatiladi. Talabalar tatqiqot o'tkazilayotgan joydan xavfsiz masofada turib tajribaning borishini kuzatadilar.

5) Tatqiqot tugagandan so'ng talabalar laboratoriya xonasidagi o'z joylarini egallab, olingan sanoqlarni qayta ishlab ushbu o'quv qo'llanma yordamida qarorni to'ldiradilar.

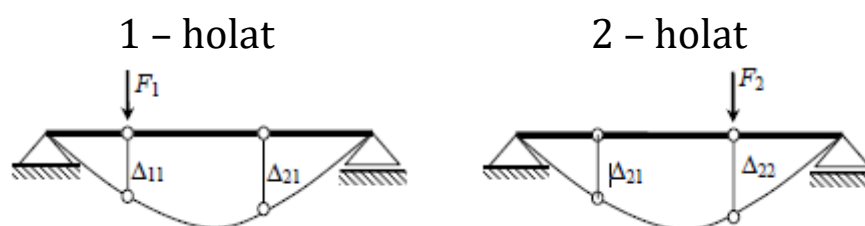
6) Mashg'ulotning oxirida talabalar laboratoriya ishlarining to'ldirilgan qarorini tekshirish uchun o'qituvchiga taqdim etadilar.

7) Mashg'ulotlarni o'tkazish grafigi asosida uskunalarining ishlash jarayoni va tatqiqot qurilmalari, deformasiyalanuvchi qattiq jism mexanikasi qonuniyatlari va o'rnatilgan qonunlarga tushintirish berish, talabalar qo'yilgan savollar bo'yicha o'qituvchiga javob berib laboratoriya ishlarini himoya qiladilar.

№8. LABORATORIYA ISHI
KO'CHISHLARNING O'ZARO BOG'LIQLIGINI TASDIQLASH
TEOREMASI
(MAKSVELL TEOREMASI)

Ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teoremani birinchi bo'lib Italyan olimi BETTI (1823 - 1892) e'lon qilgan va uning nomi bilan ataladi. Tashqi va ichki kuchlarning ta'sirida ishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teoremaning tatqiqotidan kelib chiqadi.

Ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teoremani quyidagicha talqin etish mumkin: **«ikkinchi birlik kuch ta'siridan birinchi birlik kuch yo'nalishida hosil bo'lgan ko'chish, birinchi birlik kuch ta'siridan ikkinchi birlik kuch yo'nalishida hosil bo'lgan ko'chishga tengdir»**. (8.1 - rasm).



8.1 – rasm. To'sindagi ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teoremani tushintirish uchun misol.

8.1 – rasmdagi belgilashlarga izoh:

Δ_{11} – birinchi kuch yo'nalishida shu kuch ta'siridagi ko'chish.

Δ_{21} - ikkinchi kuch yo'nalishida va birinchi kuch ta'siridagi ko'chish.

Δ_{12} - birinchi kuch yo'nalishida va ikkinchi kuch ta'siridagi ko'chish

Δ_{22} - ikkinchi kuch yo'nalishida va shu kuch ta'siridagi ko'chish.

Ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teorema qarshilikning hohlagan turi uchun o'rinlidir (markaziy cho'zilish – siqilish, buralish, oddiy va qiyshiq egilish, markaziy bo'lmagan

cho'zilish – siqilish va boshqa holatlarda), ikki shart bajarilganda – agarda mexanik sistema geometric va fizik chiziqli bo'lganda.

Geometrik chiziqli sistema – boshunday mexanik sistemaki, deformasiyalanayotgan jism o'zshaklini juda kichik miqdorga o'zgartirishiga aytiladi.

Fizik chiziqli sistema – bu shunday mexanik sistemaki, material elementlarining deformasiyasi Guk qonuniga bo'ysinadi.

Agarda F_1 va F_2 kuchlar bir – biriga teng bo'lsa, u holda Δ_{12} va Δ_{21} ko'chishlar $\Delta_{12} = \Delta_{21}$ bir – biriga teng bo'ladi. Agarda ko'chishlar birlik kuchlar ta'sirida bo'lsa, ko'chishlar δ_{12} va δ_{21} ko'rinishda ifodalanadi.

Ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teoremani quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\delta_{12} = \delta_{21}$$

Tatqiqot o'tkazishdan maqsad

Ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremasini elastic sistemalar modelida tajriba

yo'li bilan tasdiqlash. Tajribaviy ko'chishni nazariya bilan taqqoslash.

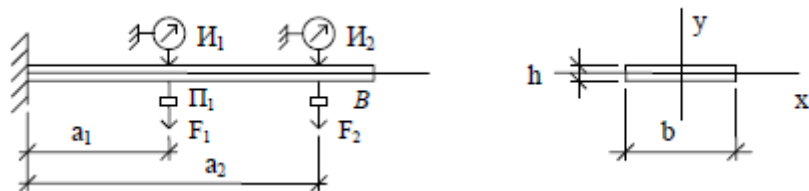
KELTIRILGANMA'LUMOTLAR

Tatqiqotga qo'yilgan talablar

Uskunadagi mexanik tenzometrlar va osilgan qadoq toshlarning holati hisobiy sxemaga mos kelishi kerak. Uskunalar shtativga mustahkam o'rnatilgan bo'lishi tenzometrning o'lchov sterjenlari vertical joylashgan bo'lishi kerak. Qadoq toshlarni joylashtirishda zarbga va siltanishlarga yo'l qo'ymaslik kerak.

Tatqiqot qurilmasi

(8.2-rasmda) tasvirlangandek tajribani o'tkazish uchun tatqiqot o'tkazadigan qurilmani pol yoki stolning ustiga o'rnatish, staninadan tashkil topgan qisqich tugunlari, po'lat plastinalar, ikkita shtativ, ikkita ilgich va qadoq tosh (yuklardan iborat).



8.2 rasm. Tatqiqot qurilmasining sxemasi.

O'lchov asbob va uskunolari

Po'lat chizg'ich va ko'ndalang kesim o'lchamlarini aniqlash uchun bo'linish bahosi 0,1mmli shtangentsirkul ishlatiladi. To'sin o'rniga ishlatiladigan po'lat plastinaning solqiligini aniqlash uchun bo'linish bahosi 0,01 mmli milli tenzometr yordamida o'lchanadi.

Tatqiqotlanayotgan namuna

Tatqiqotlanadigan namuna sifatida yuqori qismi chiziqli bilan belgilangan po'lat plastina ishlatiladi. Plastinaning biruchi boltlar bilan bikir qilib mahkamlanadi ikkinchi uchi erkin holda turadi.

Tatqiqotni o'tkazish tartibi va natijalarni qayta ishlash.

Tatqiqotni o'tkazish tartibi

1. Tatqiqot qurilmasining ishlash jarayoni hamda asosiy tugunlari bilan tanishish.
2. Namunaning mahkamlanish qismi, uning yukka aloqadorlik holati bilan tanishish.
3. Birinchi qadoq toshni P_1 ilgichka o'rnatib indikator I_2 ning shkalasi aylantirilib nolga keltiriladi.
4. Navbatdagi qadoq toshni P_1 ilgakka o'rnatib indikator I_2 ning shkalasidan sanoq olinib ularni jadvalga yoziladi.
5. Ilgak P_1 dan jami qo'yilgan qadoq toshlarni olib qurilmani yuklardan ozod qilinadi.
6. P_2 ilgakka bitta qadoq toshni o'rnatib I_1 indikator shkalasi aylantirilib nolga keltiriladi.
7. Navbatdagi qadoq toshni P_2 ilgakka o'rnatib I_1 indikator shkalasidan sanoq olinib jadvalga yoziladi.
8. Tajriba tugagandan so'ng namunani yukdan xalos etiladi.

Tatqiqot natijalaridan foydalanib jadvalni to'ldirish

Tatqiqot me'yoriga yetgandan so'ng yuk qiymatlariga to'g'ri keluvchi indikatoridan olingan sanoqlar bilan jadval to'ldiriladi. Yuklarning o'zgarish farqi hisoblanib jadvalga yoziladi, hisoblangan o'zgarishlar farqining o'rtachasi hisoblanib jadvalning quyi qismiga yoziladi.

$$\Delta n_m = \frac{\sum \Delta n_i}{4};$$

$$\Delta F_m = \frac{\sum \Delta F_i}{4}.$$

qiymatlari jadvalning quyi qismiga yoziladi.

Sterjen ko'ndalang kesimining tajribadagi ko'chishi

Sterjenning 1 va 2 kesimidagi tajribaviy ko'chishini aniqlash uchun asbob bo'yicha olingan sanoqlarning o'rtacha ko'chishini uning bo'linish bahosi α_u ga ko'paytirish kerak:

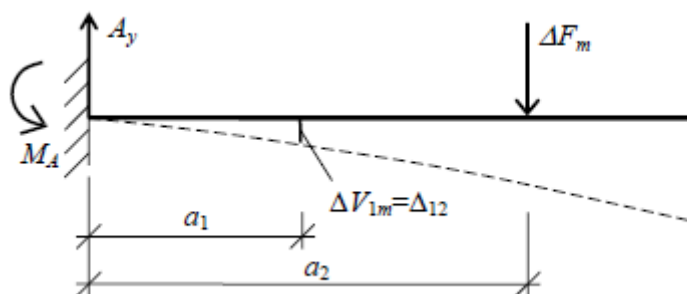
$$\Delta_{12}^{taj} = V_{1(taj)} = \Delta n_{1m} \cdot \alpha_u;$$

$$\Delta_{21}^{taj} = V_{2(taj)} = \Delta n_{2m} \cdot \alpha_u.$$

NAZARIY HISOBLASHNING NATIJALARI

Nazariy jihatdan topilgan sterjen kesimidagi ko'chishlar

Ko'chishlarni analitik aniqlashning eng qulayi boshlang'ich parametrlar usuli hisoblanadi. Qadoq toshlar ikkinchi ilgichga joylashtirilgan holni qaraymiz. 8.3 va 8.4 – rasmlarda mos keluvchi hisobiy sxemalar tasvirlangan.



8.3 – rasm. 2- ilgakka qadoq tosh yuklar joylashtirilgandagi to'sinning hisobiy sxemasi.

To'sin chap uchining mahkamlanganligini e'tiborga olib

$$V_0 = 0; \theta_0 = 0; A_y = \Delta F_m; M_A = \Delta F_m a_2,$$

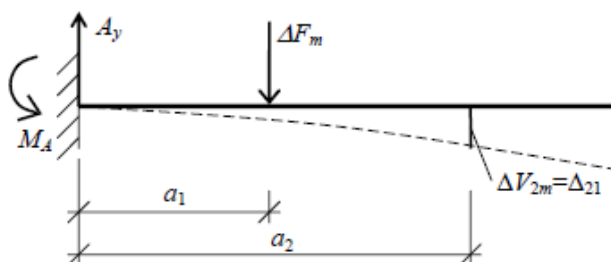
to'sinning birinchi ilgagi joylashgan (1 - nuqta) joyning solqiligini quyidagicha aniqlaymiz.

$$EJ\Delta V_{1m} = EJ V_0 + EJ\theta_0 a_1 - \frac{M_A(a_1-0)^2}{2} + \frac{A_y(a_1-0)^3}{6};$$

$$\Delta_{12}^{naz} = \Delta_{1m} = \frac{EJ\Delta_{1m}}{EJ}.$$

To'sinning chap uchi mahkamlanganligi uchun

$$V_0 = 0; \theta_0 = 0; A_y = \Delta F_m; M_A = \Delta F_m \cdot a_1.$$



8.4- rasm. 1 – ilgakka, qadoq tosh yuklar joylashtirilgandagi to'sinning hisobiy sxemasi.

Chap uchi qistirib mahkamlanganligini e'tiborga olib, to'sinning ikkinchi ilgichi joylashgan (2 - nuqta) joyning ko'chishini quyidagi ifodadan hisoblaymiz.

$$EJ\Delta V_{2m} = EJ V_0 + EJ\theta_0 \cdot a_2 - \frac{M_A(a_2-0)^2}{2} + \frac{A_y(a_2-0)^3}{6} - \frac{\Delta F_m(a_2-a_1)^3}{6};$$

$$\Delta_{21}^{naz} = \Delta V_{2m} = \frac{EJ\Delta V_{2m}}{EJ}.$$

Sterjen kesimining ko'chishini taqqoslash

Nazariy va tajribadan olingan to'sin kesimidagi ko'chishni taqqoslab ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremasining o'rinli ekanligiga ishonch hosil qilamiz.

HISOBOTNI TO'LDIRISH VA XULOSALAR

Tajribada keltirilgan natijalar hamda bajarilgan nazariy hisoblashlar quyidagi forma bo'yicha hisobotni to'ldirish ilovada keltirilgan.

Tajriba natijalari hamda nazariy hisoblashlarni taqqoslash asosi
 8.1 – jadvalda keltirilgan xulosa ko‘chishlarning o‘zaro bog‘lanish haqidagi teoremadan va yupqa to‘sin nazariy hisoblashlarining haqqoniyligini tasdiqlaydi

8.1-jadval

To‘sindagi ko‘chishlarni taqqoslash

кўчиш	Δ_{12} , мм	Δ_{21} , мм	фарқи, %
тажрибавий	$\Delta_{12}^{\text{таж}}$	$\Delta_{21}^{\text{таж}}$	$\frac{ \Delta_{12}^{\text{таж}} - \Delta_{21}^{\text{таж}} }{ \Delta_{12}^{\text{таж}} } \times 100$
назарий	$\Delta_{12}^{\text{наз}}$	$\Delta_{21}^{\text{наз}}$	$\frac{ \Delta_{12}^{\text{наз}} - \Delta_{21}^{\text{наз}} }{ \Delta_{12}^{\text{наз}} } \times 100$
фарқи, %	$\frac{ \Delta_{12}^{\text{таж}} - \Delta_{12}^{\text{наз}} }{\Delta_{12}^{\text{наз}}} \times 100$	$\frac{ \Delta_{21}^{\text{таж}} - \Delta_{21}^{\text{наз}} }{\Delta_{21}^{\text{наз}}} \times 100$	—

Nazorat savollari

1. Ko‘chishlarning o‘zaro bog‘lanish teoremasi kim tomonidan va qachon birinchi bo‘lib e‘lon qilingan?
2. Ko‘chishlarning o‘zarobog‘lanish teoremasi qanday ifodalanadi?
3. Ko‘chishlarda qabul qilingan indeksiyalashda 1 - va 2 – indekslar nimani ifodalaydi?
4. Ko‘chishlarning o‘zarobog‘lanishi haqidagi teorema qarshilikning qanday turlari uchun o‘rinlidir?
5. Ko‘chishlarning o‘zaro bog‘lanishi haqidagi teorema qanday sharoitlarda bajariladi?
6. Qanday mexanik sistemaga geometrik chiziqli deyiladi?
7. Qanday mexanik sistemaga fizik chiziqli deyiladi?
8. Laboratoriya ishidan ko‘zda tutilgan maqsad?
9. Tatqiqotda qanday talablar qo‘yiladi?
10. Tatqiqotni qanday qurilmada o‘tkaziladi?
11. Laboratoriya ishini o‘tkazishda qanday asbob va o‘lchov uskunolari ishlatiladi?
12. Qo‘llanilgan milli indikatorning bo‘linish bahosi qanday?

13. Tatqiqot namunasining shakli qanday va materiali nimadan tashkil topgan?

14. Tatqiqot namunasi qanday mahkamlanadi?

15. Namuna qanday qarshilik turiga tatqiqotlanadi?

16. Tatqiqot namunasi to'sinning qanday turida olib boriladi?

17. Tatqiqot qurilmasi qanday qismlar va detallardan tashkil topgan?

18. Tatqiqot namunasining yuklanish turi?

19. Tatqiqot natijalarining jadvali qanday to'ldiriladi?

20. Tajribada to'sinning ko'chishi qanday hisoblanadi?

21. Tatqiqotlangan to'sinda nima uchun boshlang'ich parametrlar nolga teng?

22. Birinchi va ikkinchi hisobiy sxemalar uchun boshlang'ich parametrlar usuli bo'yicha to'sin elastik o'qining universal tenglamasi qanday tuzilgan?

23. To'sindagi ko'chishlarni taqqoslash natijalari bo'yicha qanday xulosalar chiqarish mumkin?

№9. LABORATORIYA ISHI.

STATIK ANIQMAS TO'SINNI TATQIQOTLASH

Mexanik sistemalar statik aniq va statik aniqmas turlarga bo'linadi. Qurilmalarning o'rnatilishida yoki tejamkor bo'lishligi uchun statik aniqmas sistemalar qo'llaniladi.

Noma'lum reaksiyalar soni yoki ichki kuchlar muvozanat tenglamalar sonidan ortib ketsa bunday sistemalar **statik aniqmas** deyiladi. Bunday hollarda reaksiya va ichki kuchlarni statika usulida topib bo'lmaydi. Muvozanat tenglamalarning chiziqli bog'liqli maslik soniga yoki noma'lumlar sonining farqiga teng bo'lib ixtiyoriy statik aniqmas sistemaning **statik aniqmaslik darajasini** ifodalaydi.

Deformasiyaning o'zaro bog'liqlik shartidan qo'shimcha tenglamalar tuzilib statik aniqmas sistemalar yechiladi. Qo'shimcha tenglamalar soni mexanik sistemaning statik aniqmaslikdarajasiga teng bo'ladi. Qo'shimcha tenglamalar muvozanat tenglamalar bilan o'zaro bog'lanadi. Hosil qilingan tenglamalar sistemasi yechilib tashqi (reaksiya) va ichki (ichkikuchlar) barcha noma'lumlar aniqlanadi.

Ishdan ko'zda tutilgan maqsad

Statik aniqmas to'sinning mahkamlangan tayanchidagi momentning qiymatini tajriba usulida aniqlab va uni nazariy qiymat bilan taqqoslash. Statik aniqmas sistemani hisoblash usulining haqqoniyligini tasdiqlash.

KERAKLI MA'LUMOTLAR

Tatqiqotlashga qo'yilgan talablar

Mexanik tenzometr va qadoq toshlar bilan ilgakning holati hisoblash sxemasi bilan mos kelishi shart. Sterjendagi o'lchov tenzometri vertikal holatda o'rnatilib asbobning o'zi shtativga mustahkam qilib o'rnatilishi kerak.

Tatqiqot qurilmasi

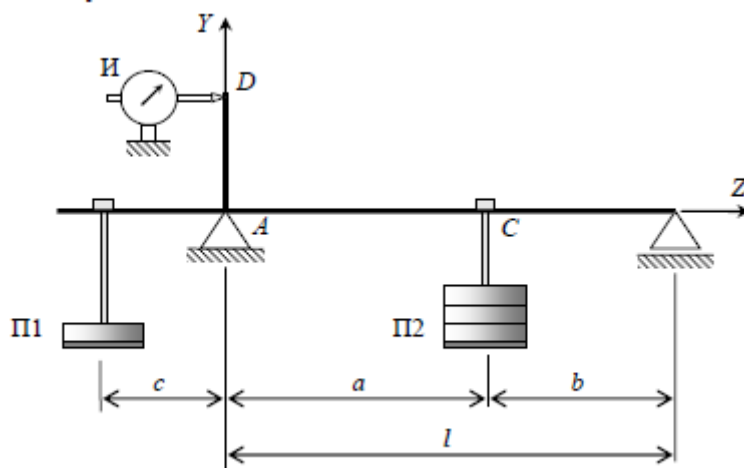
Tajribani o'tkazish uchun (9.1 - rasmda) stol ustidagi qurilmasi staninalardan tashkil topgan mustahkam qilib o'rnatilgan millitenzometr, sharnirli tayanchlar, o'lchov belgilari bilan po'lat plastina, ilgak va qadoq toshlar to'plami tasvirlangan.

Tatqiqot namunasi

Ustki qismida o'lchov belgilari bo'lgan po'lat plastina tatqiqot namunasi sifatida ishlatiladi. Plastina bir uchi sharnirli qo'zg'almas ikkinchi uchi sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchlar bilan bog'langan.

O'lchov asbob va anjomlari

Ko'ndalang kesim o'lchamlarini aniqlash uchun bo'linish bahosi 0,1 mm li shtangentsirkul va po'lat chizg'ich ishlatiladi. Bo'linish bahosi $\alpha_u = 0,01$ mm li milli tenzometr yordami bilan tayanchdagi to'sin sifatida qarayotgan po'lat plastina ko'ndalang kesimining aylanish burchagi aniqlanadi.



9.1 – rasm. Statik aniqmas to'sinni tatqiqotlash uchun qurilma sxemasi

Tatqiqotni o'tkazish tartibi va natijalarni qayta ishlash.

Tatqiqotni o'tkazish tartibi

1. Tatqiqot qurilmasining ishlash jarayoni hamda asosiy tushunchalari bilan tanishish.
2. Namuna bilan tanishish yuk bo'yicha holati va uning bog'lanish tuguni.

3. Ilgak P_1 va P_2 larga bittadan qadoq toshlarni o'rnatamiz.
4. P_1 ilgak imkon qadar tayanchga yaqin joylashtiriladi bular orasidagi masofa jurnalga yoziladi konsolning belgisi bo'yicha (razmetka) o'rnatiladi.
5. Milli tenzometrning shkalasi aylantirilib nolga keltiriladi.
6. P_2 ilgakka yana bitta qadoq tosh o'rnatiladi.
7. Tenzometr yana nol qiymatni egallaguncha P_1 ilgakni tayanchdan siljitamiz.
8. P_1 ilgakdan tayanchgacha bo'lgan masofani va P_2 ilgakdagi yukni jurnalga yoziladi.
9. Barcha qadoq toshlarni ishlatib bo'lgunga qadar 6 – 8-punktlar takrorlanadi.

Tajriba natijalariga asosan jadvalni to'ldirish

O'lchangan natijalarni qayta ishlash. Tayanchdan P_1 ilgakgacha bo'lgan masofaning va yukning ortishini hisoblaymiz. Buning uchun P_2 ilgakdagi yuk qadoq toshdan oldingi yuk qadoq toshlarni ayiramiz.

Hosil qilingan orttirmaning jadvalning tegishli ustuniga yoziladi. Shunday qilib ilgak P_1 dan tayanchgacha bo'lgan masofa bilan ishga kirishamiz. Keyin yukning o'rtacha orttirmasini va tayanchdan ilgak P_1 gacha bo'lgan masofani hisoblaymiz:

$$\Delta S_m = \frac{\sum \Delta C_i}{4};$$

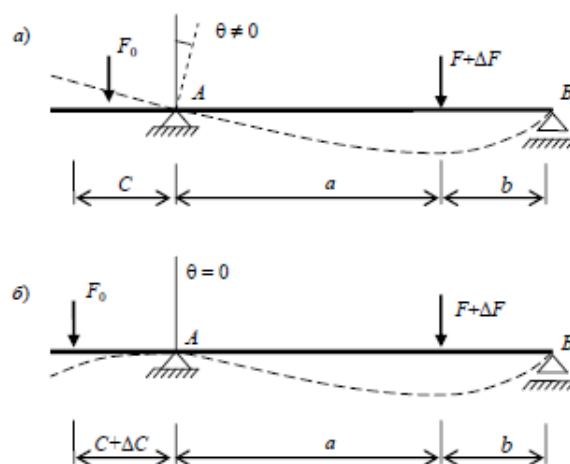
$$\Delta F_m = \frac{\sum \Delta F_i}{4};$$

Sterjen ko'ndalang kesimining tajribaviy ko'chishi va tatqiqot sxemasi

Laboratoriya ishida statik aniq to'sinning sharnirli tayanchi yordami bilan to'sin chap tayanchini qistirib maxkamlangan statik aniq to'singa modellashtiriladi. Buning uchun A sharnirli tayanchni mahkamlangan tayanch bilan ishlaydigan qilib quyidagi shartni qo'yamiz: to'sinning A tayanchi ko'ndalang kesimining aylanish burchagi nolga teng bo'lishi shart.

$$\theta_A = 0.$$

Tushunarli bo'lishi uchun 9.2 – rasmda keltirilgan tatqiqot sxemasini qaraymiz. P_2 ilgakka navbatdagi ΔF og'irlikdagi qadoq toshni joylashtirgandan so'ng indikatorning mili noldan og'adi. Bu kesim oldingi holatini egallashi uchun P_1 ilgakni tayanchdan ma'lum masofaga siljitamiz 9.2b- rasmda ko'rsatilgandek tenzometrning mili yana qaytadan nol qiymatni egallaguncha qo'shimcha momentni hosil qilib boraveramiz.



9.2 – rasm. Tatqiqot to'sinning sxemasi.

A tayanchdagi moment mahkamlangan shart bajarilganda quyidagiga teng bo'ladi.

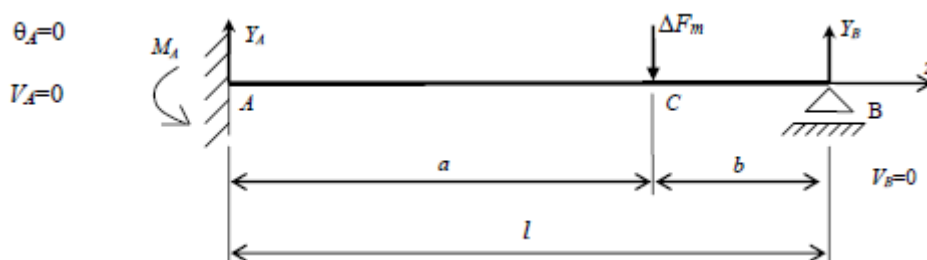
$$M_A = F_0 \Delta C_m.$$

NAZARIY HISOBNING NATIJALARI

To'sinni hisoblash sxemasi va statik aniqlashtirishni tarqatish

9.3 – rasmda tatqiqot to'sinning hisoblash sxemasi tasvirlangan to'sinni tekislikdagi disk deb qaraymiz. Shuning uchun bu diskning muvozanat sharti uchta tenglamani ifodalaydi:

$$\sum X = 0; \sum M_A = 0; \sum M_B = 0.$$



9.3 – rasm. Statik aniqmas to'sinning hisoblash sxemasi.

Mahkamlangan chap tayanchda uchta bog'lanish o'ng sharnirli tayanchda bitta bog'lanish bo'ladi. Shunday qilib to'sinni to'rtta bog'lanish ushlab turadi. Demak to'sin bir marta statik aniqmasdir:

$$n = 4 - 3 = 1.$$

Statik aniqmaslikni yo'qotish uchun barcha reaktiv kuchlarni va reaktivmomentni aniqlash uchun bitta qo'shimcha tenglama tuzish talab etiladi.

Statikaning muvozanat tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum X = X_A = 0;$$

$$\sum M_A = -M_A + \Delta F_m \cdot a - Y_B \cdot (a + b) = 0; \quad (9.1)$$

$$\sum M_B = -M_A + Y_A(a + b) - \Delta F_m \cdot b = 0. \quad (9.2)$$

Qo'shimcha tenglamani kinematik shart bo'yicha to'sinning V nuqtasidagi ko'chish nolligidan foydalanib tuzamiz.

$$EJ V_B = EIV_0 + EI\theta_0 \cdot (a + b) - \frac{M_A \cdot (a+b)^2}{2} + \frac{Y_A \cdot (a+b)^3}{6} - \frac{\Delta F_m \cdot b^3}{6} = 0. \quad (9.3)$$

Shunday qilib to'sinning chap uchi mahkamlangan, boshlang'ich parametrlarning qiymati oldindan ma'lum va quyidagiga teng: $V_0 = 0; \theta_0 = 0$.

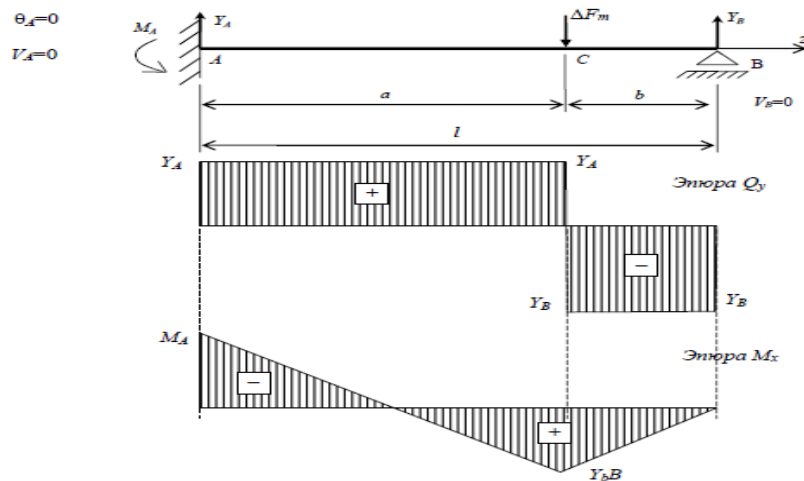
(9.2) va (9.3) tenglamalarda bir xil noma'lumlar bundan M_A va Y_A larning qiymati aniqlanadi. (9.1) tenglamadan Y_B reaksiyaning qiymati aniqlanadi.

To'sin ichki kuchlarining epyuralarini qurish

To'sin ko'ndalang egilishga tatqiqotlanadi, shuning uchun uning ko'ndalang kesimida qirquvchi kuch va eguvchi momentlar hosil bo'ladi.

9.3 – rasmga qarang. To'sin ikki AS va SV qismdan iborat bo'lib teng taqsimlangan kuch yo'q. Shuning uchun Q_Y ko'ndalang kuch epyurasi har bir uchastkada doimiy qiymatni qabul qiladi. AS uchastkada ko'ndalang kuch Y_A reaksiyaning qiymatiga teng bo'lib musbat ishorali bo'ladi. SV uchastkada ko'ndalang kuch Y_B reaksiya kuchiga teng bo'lib manfiy ishorali bo'ladi.

AS va SV uchastkalarda eguvchi moment chiziqli qonun bo'yicha o'zgaradi. A kesimda eguvchi moment M_A reaktiv momentning qiymatiga teng bo'lib manfiy qiymatni qabul qiladi, S kesimda eguvchi moment musbat bo'lib Y_B reaksiyani ikkinchi uchastka uzunligi b ga ko'paytmasiga teng. V tayanchdagi kesimda eguvchi moment nolga teng. 9.4 – rasmda ko'ndalang kuch va eguvchi moment epyuralari keltirilgan.



9.4 – rasm. To'sin ichki kuchlarining epyurasi.

NATIJALARNI TAQQOSLASH, HISOBOTNI TO'LDIRISH VA XULOSALAR

A tayanchdan reaktiv momentning qiymatini nazariy hisob va tajribadan olingan qiymatlar bilan taqqoslash:

$$\left| \frac{M_A^{\text{taj}} - M_A^{\text{naz}}}{M_A^{\text{naz}}} \right| \cdot 100$$

Hosil qilingan tajribaviy va hisoblash natijalarini taqqoslash asosida statik aniqmas yupqa To'sinning hisoblash usulining haqqoniyligi bo'yicha xulosa qilamiz. O'tkazilgan tajriba natijalari va bajarilgan nazariy hisoblar bo'yicha formaga asosan hisobot to'ldirish ilovada keltirilgan.

Nazorat savollari

1. Qanday mexanik sistemaga statik aniqmas deyiladi?
2. Statik aniqmas sistemalar nimadan xarakterlanadi?

3. Nima uchun qo'shimcha tenglama tuziladi?
4. Statik aniqmas sistemalarni hisoblash uchun nechta qo'shimcha tenglama tuziladi?
5. Laboratoriya ishidan qanday maqsad ko'zda tutilgan?
6. Tatqiqotni o'tkazishda qanday talablarni bajarish shart?
7. Statik aniqmas to'sinni tatqiqotlash jarayonida qanday qurilmadan foydalanilgan?
8. Tatqiqot qurilmasi qanday detallardan va qismlardan tashkil topgan?
9. To'sin qanday yuklanadi?
10. Tatqiqot jarayonida qanday asbob – uskunalari ishlatilgan?
11. Laboratoriya ishida ishlatilgan millitenzometrning bo'linish bahosi qanday?
12. Laboratoriya ishida namuna sifatida nima ishlatilgan?
13. Tatqiqotni o'tkazish tartibi qanday?
14. Tatqiqot natijalari jadvali qanday to'ldiriladi?
15. Statik aniq sharnirli bog'langan to'singa shunday qurilma o'rnatamizki u statik aniqmas to'singa aylanishi uchun qanday shartlar qo'yilgan?
16. To'sinning A tayanchi ko'ndalang kesimidagi aylanish burchagi nol bo'lishi uchun nima qilmoq kerak?
17. Tatqiqot natijasiga ko'ra A tayanchdagi moment qanday hisoblangan?
18. Tajribadagi to'sinning statik aniqmaslik darajasi nechchiga teng?
19. Tatqiqotlanayotgan to'sin uchun qancha va qanday statikaning muvozanat tenglamalari tuziladi?
20. To'sinning hisoblash sxemasi bo'yicha qo'shimcha tenglamalar tuzishda qanday kinematik shart ishlatilgan?
21. M_A va Y_A noma'lumlarni topish uchun qanday tenglamalar sistemasi yechilgan?
22. O'ng tayanchdagi Y_B reaksiyaning qiymati qanday topilgan?

23.To'sinning chap va o'ng uchastkalaridagi ko'ndalang kuch qanday topilgan?

24.Nima uchun ikkala uchastkada ham ko'ndalang kuch o'zgarmas?

25.A, S va V kesimlardagi eguvchi momentlar qanday topilgan?

26.Nima uchun A kesimdagi eguvchi moment manfiy, S kesimda musbat?

27.Tajriba va nazariyadan topilgan M_A moment qiymatlarining farqi nimani keltirib chiqaradi?

28.Tatqiqot natijalari bo'yicha qanday xulosa chiqarish mumkin?

№10. LABORATORIYA ISHI

QIYSHIQ EGILISHDA KUCLANISHNI TATQIQOTLASH

To'sin o'qiga tik yo'nalgan va bosh tekisliklardan birining ham ustida yotmagan kuchlar ta'siridan qiyshiq egilish deformasiyasi hosil bo'ladi.

To'sin ko'ndalang kesimida ikkita eguvchi moment va ikkita kesuvchi kuch paydo bo'lsa, bunga qarshilikning murakkab holati bo'lib qiyshiq egilishni ifodalaydi. Agarda kuchlar ta'siridagi bog'lanish jarayoni haqqoniy bo'lsa qiyshiq egilish o'zida ikkita oddiy egilishni namayon etadi. Shuning uchun qiyshiq egilishda quyidagi gipoteza o'rinlidir. Qachonki oddiy tekis egilishni o'rganishda – statik nazariyada to'sin bo'ylama tolalari orasida bosim yo'q deb qabul qilingan.

Agarda ko'ndalang kesim murakkab geometrik shakldan iborat bo'lsa, qiyshiq egilishda to'sinni mustahkamlikka hisoblash ancha murakkablashadi. Bu holatda ko'ndalang kesimning xavfli nuqtasini aniqlash qiyin. Maksimal kuchlanish hosil bo'lgan nuqtaga kesimning xavfli nuqtasi deyiladi. Buni aniqlash uchun neytral o'qni o'tkazish kerak.

Chiziqning har bir nuqtasida kuchlanish nolga teng bo'lsa bunga neytral chiziq deyiladi.

Kesim nuqtasi neytral o'qdan maksimal uzoqlikda joylashgan bo'lsa, bu yerda maksimal kuchlanish hosil bo'lib xavfli zona deyiladi. X o'qi bo'yicha uning qiyalik burchagi neytral o'qning holatini aniqlashda hamma vaqt u kesim og'irlik markazidan o'tishini hisobga olish kerak.

$$\tan \beta = \frac{M_y I_x}{M_x I_y}.$$

To'sin deformatsiyasi uning o'lchamlariga nisbatan juda kichik deb qaraladi va material deformasiyasi Robert Guk qonuni bo'yicha o'zgaradi.

Ishdan ko'zda tutilgan maqsad

Qiyshiq egilish nazariyasi hisoblashlarining to'g'ri bajarilganligini amaliy hisoblash formulalari natijalarini taqqoslash yo'li bilan tekshiriladi.

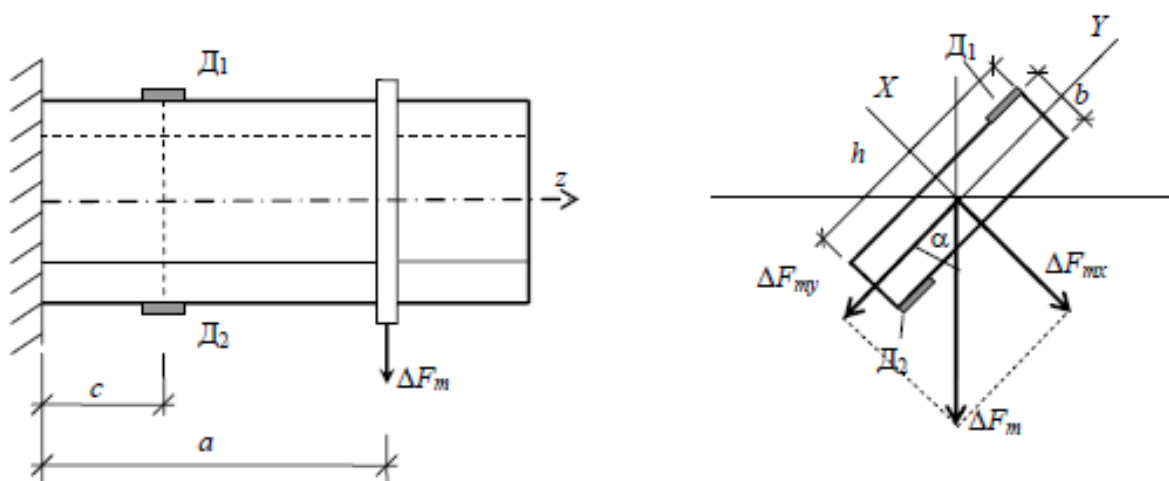
KERAKLI MA'LUMOTLAR

Tatqiqot talablari.

Yuklanish statik bo'lganda to'sin xavfli kesimidagi maksimal normal kuchlanish mutanosiblik chegarasidagi qiymatidan ortib ketmasligi shart. Shakldagi qadoq toshlarning holati hisoblash sxemasiga mos kelishi kerak. Qadoq toshlarni joylashtirishda siltanish va zarbga yo'l qo'yilmasligi lozim.

Tatqiqot qurilmasi

10.1 – rasmda ko'rsatilgandek ilgak va girlar to'plami, o'lchov belgilari bilan po'lat plastina (to'sin), statina tarkibi bilan mahkamlovchi qism, stol ustidagi ishlatiladigan tatqiqot qurilmasida tajriba o'tkazish.



10.1 – rasm. Qiyshiq egilishda kuchlanishni tatqiqot lash uchun qurilma sxemasi.

Yuklarni jamlash uchun to'sinning prolyoti (oralig'i) ga yuklar bilan ilgak o'rnatilgan. Ilgak podshipnikka biriktirilgan. Qadoq toshlar og'irligi ta'siridagi yuk plastinaning ixtiyoriy holatida ham o'zining vertikal yo'nalishini saqlaydi. Shuning uchun ham tekislikdagi eguvchi

momentlarning yig'indisi hardoiim vertikal joylashadi. Mahkamlangan qism plastinani o'z o'qi atrofida aylanishiga yo'l qo'yadi, inersianing bosh o'qlari bilan eguvchi moment yig'indisining ta'siri orasidagi burchak bo'yicha. Mahkamlangan qism graduslarga bo'lingan shkala bilan ta'minlangan.

O'lchov asbob – uskunalari

Ko'ndalang kesim o'lchamlarini aniqlash uchun po'latchizg'ich, bo'linish bahosi 0,1 mm bo'lgan shtangentsirkul ishlatiladi. To'sinning tolalari bo'yicha deformasiyasini o'lchash uchun simli qarshilik datchiklari $K = 2,1$ koeffitsiyentli va bo'linish bahosi $\alpha = 1 \cdot 10^{-5}$ li IDTS – 1 ishlatiladi. (sifrlı deformasiya o'lchagichlari).

Tatqiqotlanayotgan namuna

Ustki qismi o'lchamlarga bo'lingan po'lat plastina tatqiqot namunasi ishlatilgan. Platinaning bir uchi mahkamlash qismiga biriktirilgan, ikkinchi qismi erkin holatda joylashgan. To'sin mahkamlangan qismining yuqori va quyi nuqtalariga simli datchiklar yelimlangan. Datchiklarning ishchi yo'nalishi to'sinning bo'ylama tolalariga mos keladi.

Tatqiqotni o'tkazish tartibi va natijalarni qayta ishlash.

Tatqiqotni o'tkazish tartibi

1. Tatqiqot qurilmasining ishlash jarayoni va asosiy qismlari bilan tanishish.
2. Namunaning mahkamlanish qismi va yukka bog'liqlik holati bilan tanishish.
3. Kompensatsiyalovchi datchik va datchiklarning ishchi holatini aniqlash.
4. Ishchi datchiklarning joylashish joyidan ilgakni ishchi masofada o'rnatish.
5. Bitta qadoq toshni ilgakka o'rnatib IDTS – 1 asbobi bo'yicha ikkala datchiklardan sanoq olish.

6. Olingan sanoqlarni va yuk qiymatlarini tatqiqot natijasi jadvaliga yozish.

7. Qadoq toshlarni navbatma – navbat ilgakka joylashtirib har ikkala datchiklardan sanoqlar olish.

8. Olingan sanoq va yuk qiymatlarini tatqiqot natijalari jadvaliga yozish.

Tatqiqot natijalari jadvalini to'ldirish

Olingan sanoq natijalarini qayta ishlash. Yuklarning va har ikkala datchiklardan olingan sanoqlarning farqini hisoblash. Buning uchun navbatda qadoq tosh og'irligidan ilgakdagi qadoq tosh og'irligini ayiramiz. Hosil qilingan orttirmani jadvalning tegishli ustuniga yozamiz. Ikkala datchikdan olingan sanoqlar bilan ishga kirishamiz. Keyinchalik yuklarning o'rtacha orttirmasini va ikkala datchiklardan olingan sanoqlarning o'rtacha orttirmasini hisoblaymiz:

$$\Delta n_{1m} = \frac{\sum \Delta n_{1i}}{4};$$

$$\Delta n_{2m} = \frac{\sum \Delta n_{2i}}{4};$$

$$\Delta F_m = \frac{\sum \Delta F_i}{4}.$$

Hosil qilingan o'rtacha orttirmaning qiymatlarini tatqiqot natijalari jadvaliga yozamiz

Tatqiqot natijalari

Tatqiqotlanayotgan to'sin nuqtalari bo'ylama tolalardagi nisbiy deformatsiya quyidagi formula yordamida hisoblanadi.

$$\varepsilon_{(1)} = \frac{2\Delta n_m \alpha}{K};$$

$$\varepsilon_{(2)} = \frac{2\Delta n_m \alpha}{K}.$$

Tatqiqotlanayotgan to'sin nuqtalaridagi normal kuchlanish Robert Guk qonunidan aniqlanadi:

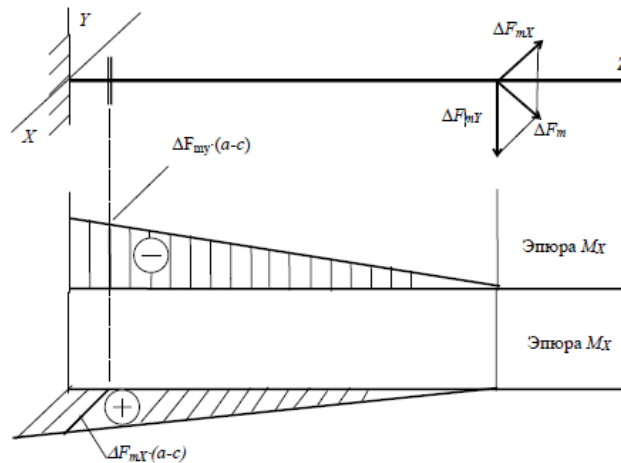
$$\sigma_{(1)} = E\varepsilon_{(1)};$$

$$\sigma_{(2)} = E\varepsilon_{(2)}.$$

NAZARIY HISOBLASH NATIJALARI

To'sinning hisoblash sxemasi va eguvchi moment epyuralari

Qistirib mahkamlangan tayanchga to'g'ri keluvchi to'sin kesimini aylanishga va ko'chishga yo'l qo'ymaydigan tajriba qurilmasining chap tomonida mahkamlovchi qism joylashtirilgan. To'sinning o'ng uchi erkin joylashgan. Markaziy bosh inersiya o'qlari X va Y tekislikdagi eguvchi momentlarning yig'indisiga nisbatan berilgan, ΔF_m kuchlar ta'sir chizig'ini va bu kuchlardan to'sin o'qidagi kuch yelkani ifodalaydi. 10.2 – rasm. Bosh inersiya o'qlarining holati va tekislikdagi eguvchi momentlar yig'indisi holati to'sinning barcha ko'ndalang kesimida mos keladi. (bixildir). Shuning uchun to'sin tekis qiyshiq egilishga tatqiqotlanadi.



10.2 – rasm. To'sindagi eguvchi moment epyuralari.

ΔF_m kuchni ikkita tashkil etuvchiga X o'qidagi va Y o'qidagi proyeksiyalarga ajratamiz:

$$\Delta F_{my} = \Delta F_m \cos \alpha;$$

$$\Delta F_{mx} = \Delta F_m \sin \alpha.$$

To'sinning hisobiy kesimida datchiklar o'rnatilgan joydagi ΔF_{my} tashkil etuvchi ta'sirida X o'qiga nisbatan eguvchi momentni keltirib chiqaradi. ΔF_{mx} tashkil etuvchi Y o'qiga nisbatan eguvchi momentni tashkil qiladi:

$$M_x = \Delta F_{my} \cdot (a - c);$$

$$M_y = \Delta F_{mx} \cdot (a - c);$$

Shunday qilib, qiyshiq egilish XZ va YZ tekisliklarida ikkita oddiy tekis egilishni tashkil qiladi. 10.2 – rasmda ikkala tekislikdagi eguvchi moment epyuralari qurib ko'rsatilgan.

To'sinning hisobiy nuqtalaridagi normal kuchlanish

Ikkala datchik yelimlangan joydagi to'sinning hisoblash nuqtalari normal kuchlanishini ikkala tekislikdagi eguvchi moment ta'sirida kuchlanishlar yig'indisi sifatida hisoblaymiz:

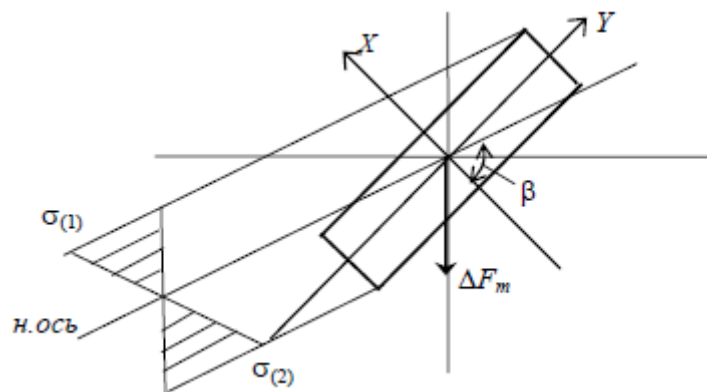
$$\sigma_{(1)} = \frac{M_x}{I_x} y_{(1)} + \frac{M_y}{I_y} x_{(1)} = \frac{M_x}{I_x} \cdot \frac{h}{2} + \frac{M_y}{I_y} \cdot \frac{b}{2};$$

$$\sigma_{(2)} = \frac{M_x}{I_x} y_{(2)} + \frac{M_y}{I_y} \cdot x_{(2)} = \frac{M_x}{I_x} \cdot \left(-\frac{h}{2}\right) + \frac{M_y}{I_y} \cdot \left(-\frac{b}{2}\right).$$

To'sin hisobiy kesimidagi neytral o'qning holati va normalkuchlanish epyurasi

10.3 – rasmda X o'qidagi β burchakni o'lchab qo'yib neytral o'qning holati aniqlanadi:

$$\tan \beta = \frac{M_y I_x}{M_x I_y}.$$



10.3 – rasm. Normal kuchlanish epyurasi.

Agarda bosh markaziy o'qlar cho'ziluvchi tolalar bo'ylab yo'nalgan bo'lsa, β burchakni X o'qidan choraklikning manfiy tomoniga qaratib yo'naltiramiz.

NATIJALARNI TAQQOSLASH, HISOBOTNI YOZISH VA XULOSALAR

To'sinning hisoblash nuqtalaridagi normal kuchlanish qiymatlarini ya'ni tajribadan olingan va nazariy hisoblashlardan olinganlarni taqqoslash.

$$\left| \frac{\sigma_{(1)}^{\text{taj}} - \sigma_{(1)}^{\text{naz}}}{\sigma_{(1)}^{\text{naz}}} \right| \cdot 100;$$
$$\left| \frac{\sigma_{(2)}^{\text{taj}} - \sigma_{(2)}^{\text{naz}}}{\sigma_{(2)}^{\text{naz}}} \right| \cdot 100.$$

Tajribadan olinganlar va nazariy hisoblarni o'zaro taqqoslash natijalariga asosan to'sin qiyshiq egilganda hisoblash usulining haqqoniyligini xulosalash.

O'tkazilgan tajriba natijalari bo'yicha, hamda hisobotni ilovada keltirilgandek to'ldirish.

Nazorat savollari

1. Qiyshiq egilish deb qarshilikning qanday turiga aytiladi?
2. Qiyshiq egilishni qanday sharoitda ikkita tekis oddiy egilish sifatida tasvirlash mumkin?
3. Qiyshiq egilishda kesimning qaysi nuqtasini xavfli deb hisoblash kerak?
4. Qiyshiq egilishda qaysi o'qni neytral deyish mumkin?
5. Qiyshiq egilishda kesimning xavfli nuqtalari neytral o'qqa nisbatan qanday holatda joylashadi?
6. Qiyshiq egilishda neytral o'qning holati qanday aniqlanadi?
7. Laboratoriya ishida tatqiqotni o'tkazishdan maqsad nima?
8. Tajribani o'tkazishda qanday talablar bajariladi?
9. Tatqiqot qurilmasi qanday detallardan va qanday qismlardan tashkil topgan va qanday o'rnatilgan?
10. Nima uchun tatqiqot qurilmasi tekislikdagi eguvchi momentlar yig'indisining vertikal holatini taminlaydi?
11. Tajribani o'tkazish uchun qanday asboblari va o'lchov uskunalari ishlatiladi?

12. Namuna sifatida nima ishlatiladi?
13. Tajriba qurilmasiga namuna qanday o'rnatiladi?
14. Ishchi datchiklar qayerga va qanday o'rnatiladi?
15. Kompensatsiyalovchi datchik qanday o'rnatiladi?
16. Qurilmada kompensatsiyalovchi datchik nima vazifani bajaradi?
17. Tajribani o'tkazish qanday tartibda bajariladi?
18. Tatqiqot natijalarining jadvali qanday to'ldiriladi?
19. Asbobning ko'rsatgichlari va yuklarning o'rtacha orttirmasining qiymati qanday hisoblanadi?
20. To'sinning hisoblash tolalari nuqtasidagi nisbiy bo'ylama deformasiyasi qanday hisoblanadi?
21. To'sinning hisoblash nuqtasidagi normal kuchlanish qanday hisoblanadi?
22. Nima sababdan hisoblash sxemasida to'sinning chap tayanchi qistirib mahkamlangan deb qaraladi?
23. Nima sababdan tajriba qurilmasida to'sin tekis qiyshiq egilish sifatida tatqiqotlanadi?
24. Kesimning bosh tekisligidagi eguvchi moment qanday hisoblanadi?
25. To'sinning hisoblash nuqtasidagi kuchlanish qaysi formula yordamida topiladi?
26. Neytral o'qning holati qanday qoidaga asosan aniqlanadi?
27. Nazariy hisobdan va tajribadan olingan natijalar qanday taqqoslanadi?
28. Laboratoriya ishidan olingan natijalar bo'yicha qanday xulosalar chiqarish mumkin?

№11. LABORATORIYA ISHI

QIYSHIQ EGILISHDA DEFORMASIYANI TATQIQOTLASH

Yuqorida aytib o'tilganidek, qiyshiq egilish – murakkab qarshilikning shunday turi bo'lib, tekis eguvchimoment yig'indisi ko'ndalang kesimdagi bosh o'qlarning hech birida yotmaydi. Qiyshiq egilish tekis va fazoviy turlarga bo'linadi. Agarda to'sinning elastik o'qi tekis egri bo'lsa, bu yerda tekis qiyshiq egilish bo'ladi. Agarda elastik o'q – fazoviy egri bo'lsa, u holda qiyshiq egilish fazoviy bo'ladi. Mustahkamlikka hisoblashda buning ahamiyati yo'q, ko'ndalang kesimdagi normal kuchlanishni hisoblashda xuddi shu formuladan foydalaniladi. Neytral o'q holatini aniqlashda shular e'tiborga olinadi. Kesimning X bosh o'qi bilan neytral o'qning qiyalik (og'ish) burchagi tekis qiyshiq egilish uchun quyidagi oddiy formuladan aniqlanadi:

$$\tan \beta = \frac{I_x}{I_y} \tan \alpha,$$

bu yerda β - neytral o'qning ko'ndalang kesimdagi X bosh o'q bilan hosil qilgan qiyalik burchagi.

I_x, I_y - ko'ndalang kesimning bosh inersiya momentlari;

α - Y bosh o'q bilan tekis eguvchi momentlar yig'indisi orasidagi og'ish burchagi.

Bu holatda fazoviy qiyshiq egilish bosh X o'qning neytral o'q bilan hosil qilgan og'ish burchagi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\tan \beta = \frac{I_x}{I_y} \cdot \frac{M_y}{M_x}.$$

To'sinning to'liq ko'chishi yo'nalishini hisoblashda to'sin qanday egilishga tatqiqotlanayotganligini e'tiborga olish kerak. Agarda qiyshiq egilish tekis bo'lsa, to'liq ko'chish yo'nalishining Y bosh o'qqa nisbatan og'ish burchagi β burchakka teng bo'ladi. Y o'qiga nisbatan to'liq ko'chish yo'nalishining og'ish burchagini to'g'ridan to'g'ri hisoblash uchun fazoviy qiyshiq egilishda alohida formula mavjud emas. To'liq ko'chishning yo'nalishini aniqlash uchun bunday holatda bosh inersiya o'qlarining yo'nalishi va uning qiymatlaridan foydalanib γ burchak topiladi,

$$\tan \gamma = \frac{V_x}{V_y}.$$

To'sinning o'lchamlariga nisbatan deformatsiya kichik bo'lganligi sababli materialning deformasiyasi Guk qonuniga bo'ysinadi.

Egilish tekis va fazoviy bo'lganda to'sinning ko'chishini topish va uning elastik o'qini qurish ancha murakkab kechadi.

Boshqa asboblarda bo'yicha ham qiyshiq egilishning ko'rinishini o'rnatish mumkin. To'sinning barcha kesimlari uchun bosh inersiya o'qlarining holati va tekis qiyshiq egilish bo'layotgan joyda tekislikdagi eguvchi momentlar yig'indisi bir xil. Agarda bu shart bajarilmasa qiyshiq egilish fazoviydir.

Tatqiqotdan ko'zda tutilgan maqsad

1. Ko'chishning amaliy usulini aniqlash uchun qabul qilingan qiyshiq egilish nazariyasida tekshirish o'tkaziladi.
2. Qiyshiq egilishda Guk qonunini tasdiqlash.
3. Kuchlar tekisligi holatining mosligini neytral chiziq yo'nalishi bog'liqligi bo'yicha tekshirish.

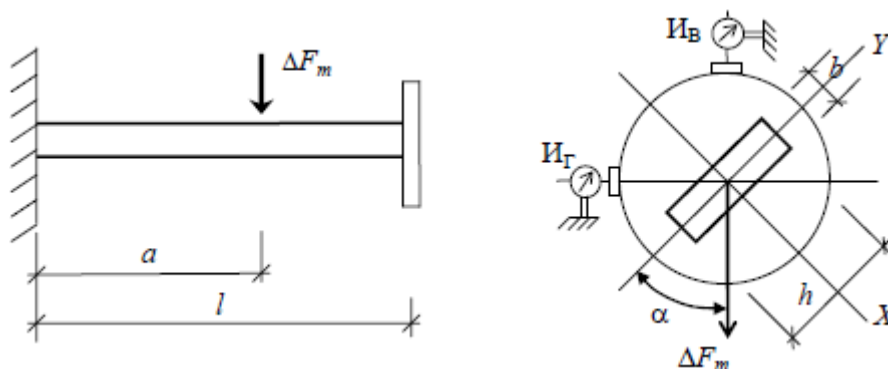
KERAKLI MA'LUMOTLAR

Tatqiqotga qo'yilgan talablar

Yuklanish statik bo'lganda to'sinning xavfli kesimidagi normal kuchlanish mutanosiblik chegarasidagi qiymatdan ortib ketmasligi kerak. Qadoq tosh bilan ilgak va milli tenzometrlarning holati hisoblash sxemasiga mos kelishi shart. Qadoq toshni o'rnatayotgan vaqtda zarb va siltanishga yo'l qo'ymaslik kerak.

Tatqiqot qurilmasi

11.1 – rasmda tasvirlangan, ilgak va qadoq toshlar jamlanmasi, o'lcham chiziqlari bilan po'lat plastina (to'sin), staninadan iborat mahkamlovchi qism, tajribani o'tkazish uchun stol ustidagi tatqiqot qurilmasi.



11.1 – rasm. Qiyshiq egilishdagi ko‘chishlarni tatqiqotlash uchun tajriba qurilmasining sxemasi.

Ilgakka o‘rnatilgan qadoq toshning og‘irligi ta‘siridan yuk hosil bo‘ladi. Ilgak podshipnikka o‘rnatilgan. Mana shu yukning ta‘sirida plastinaning ixtiyoriy holatida ham o‘zining vertical yo‘nalishini saqlaydi, shuning uchun tekislikdagi eguvchi momentlar yig‘indisi hardoin vertical joylashgan bo‘ladi. Tekislikdagi eguvchi moment yig‘indisining ta‘siri va inersiyaning bosh o‘qi bilan tashkil etgan burchakning o‘zgarishi mahkamlovchi qism plastinani uning o‘qi atrofida aylanishini ta‘minlaydi. Mahkamlovchi qism graduslarga bo‘lingan shkala bilan taminlangan.

O‘lchov asboblari va uskunalari

Po‘lat chizg‘ich va ko‘ndalang kesim o‘lchamlarini aniqlash uchun bo‘linish bahosi 0,1mmli shtangentsirkul ishlatiladi. To‘sinning ko‘chishini o‘lchash uchun bo‘linish bahosi $\alpha = 0,01\text{mm}$ bo‘lgan ikkita milli tenzometr ishlatiladi. Tenzometrlar shunday o‘rnatilganki bittasi to‘sin hisoblash nuqtasining gorizontal ko‘chishini ikkinchisi vertical ko‘chishini o‘lchaydi.

Tatqiqot namunasi

Tatqiqot namunasi sifatida ustki qismi o‘lchov chiziqlari bilan qoplangan ko‘ndalang kesimi to‘g‘ri burchakli po‘lat plastina qo‘llanilgan. Plastinaning bitta uchi mahkamlovchi qismga qistirib mahkamlangan ikkinchi uchi erkin joylashgan.

Tatqiqot o'tkazish tartiblari va olingan natijani qayta ishlash.

Tatqiqotni o'tkazish tartibi

1. Tatqiqot o'tkazish qurilmasining ishlash jarayoni va asosiy qismlar bilan tanishish.
2. Namuna bilan va uning yuk bilan o'zaro bog'lanish holati hamda uning mahkamlanish qismi bilan tanishish.
3. Tenzometrlarning holatini aniqlash.
4. Mahkamlangan joyidan hisobiy masofaga ilgak o'rnatiladi.
5. Ilgarka bitta qadoq toshni o'rnatib ikkala tenzometrlardan sanoq olinadi.
6. Hisobot va tatqiqot natijalari jadvaliga yukning qiymati yoziladi.
7. Ilgarka navbatdagi qadoq tosh o'rnatilib ikkala asbobdan sanoqlar olinadi.
8. Tatqiqot natijalari jadvaliga yukning qiymatlari va olingan sanoqlar yoziladi.

Tatqiqot natija larining jadvalini to'ldirish va to'sinning deformasiyalanish grafigini qurish.

Tatqiqot natijalarini qayta ishlash. Yuklarning orttirmasini va ikkala asbobdan olingan sanoqlarning orttirmalarini hisoblaymiz. Buning uchun ilgarka o'rnatilgan navbatdagi qadoq tosh og'irligidan ilgarigi qadoq tosh og'irligini ayiramiz. Hosil qilingan orttirmalarni jadvalning tegishli ustuniga yozamiz. Ikkala asboblar bo'yicha olingan sanoqqa kirishamiz. Keyinchalik yuklarning o'rtachaorttirmasini va ikkala asbob bo'yicha olingan o'rtacha orttirmani hisoblaymiz:

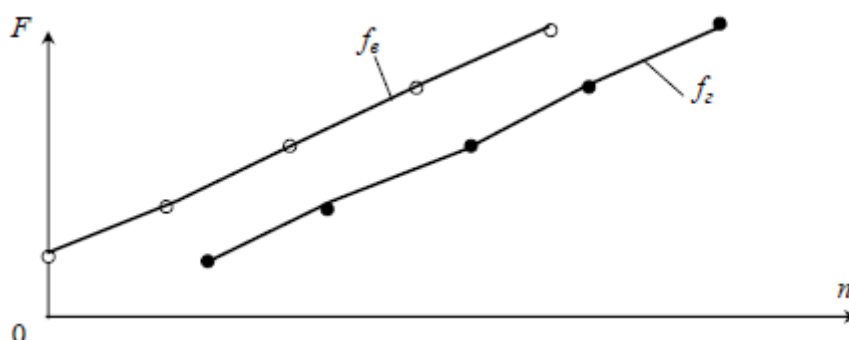
$$\Delta n_{mB} = \frac{\sum \Delta n_{Bi}}{4}, \Delta n_{mG} = \frac{\sum \Delta t_{Gi}}{4}, \Delta F_m = \frac{\sum \Delta F_{i}}{4}.$$

Hosil qilingan o'rtacha orttirmalarning qiymatini tatqiqot natijalari jadvaliga yozamiz.

Tatqiqot natijalari

Юк, Н		Индикатор И _в		Индикатор И _г	
F	ΔF	n	Δn	n	Δn
F_1		n_1		n_1	
	ΔF_{12}		Δn_{12}		Δn_{12}
F_2		n_2		n_2	
	ΔF_{23}		Δn_{23}		Δn_{23}
F_3		n_3		n_3	
	ΔF_{34}		Δn_{34}		Δn_{34}
F_4		n_4		n_4	
	ΔF_{45}		Δn_{45}		Δn_{45}
F_5		n_5		n_5	
Ўртача қиймат	ΔF_m		$\Delta n_{mв}$		$\Delta n_{mг}$

Guk qonunining haqqoniyligini tasdiqlash uchun to'sin deformasiyasining grafigini (11.2 - rasmda) quramiz. Yukni vertikal o'qqa asbobdan olingan sanoqni gorizontall o'qqajoylashtiramiz.



11.2-rasm. Qiyshiq egilishda to'sindagi gorizontall va vertikal ko'chishlarning bog'liqlik grafigi.

Tatqiqot natijalari

To'sinning gorizontall va vertikal yo'nalishdagi ko'chishlari tatqiqot natijalari bo'yicha hisoblanadi.

Vertikal yo'nalish bo'yicha.

$$f_B = \Delta n_{mn} \alpha_n;$$

$$f_g = \Delta n_{mg} \alpha_n.$$

To'sinning hisoblash kesimidagi to'liq ko'chish vertikal va gorizontall yo'nalishdagi ko'chishlarning geometric yig'indisi bo'yicha hisoblanadi.

$$f_{tot}^{taj} = \sqrt{f_B^2 + f_g^2}.$$

To'liq ko'chishning yo'nalishi bilan vertical o'q orasidagi burchakni gorizontal yo'nalishdagi ko'chishning vertical yo'nalishdagi ko'chishga nisbati bilan hisoblanadi: $\tan \gamma^{taj} = \frac{f_G}{f_V}$.

NAZARIY HISOBLASHNING NATIJALARI

To'sinning hisoblash sxemalari va eguvchi moment epyuralari

Qistirib mahkamlangan, to'sin kesimini aylanishga va qimirlashga yo'l qo'ymaydigan tajriba qurilmasining chap tomonida mahkamlovchi qism joylashgan. O'ng uchi erkin holatda. Tekislikdagi eguvchi momentlar yig'indisining markaziy bosh inersiya X va Y o'qlariga nisbatan burilishi, to'sin o'qidagi bu kuchlarning yelkasi ΔF_m kuchlar ta'sir chizigi bo'yicha tasvirlangan. Bundan tashqari bosh inersiya o'qlarining holati tekislikdagi eguvchi momentlar yig'indisining holati to'sin ko'ndalang kesimining barcha joyida bir xil dir. Shuning uchun ham to'sinda tekis qiyshiq egilishga tatqiqotlanadi. Gorizontal va vertical yo'nalishdagi nisbati bo'yicha bosh inersiya o'qlari X va Y α burchakka burilgan.

Vertikal kuch ΔF_m ni ikkita tashkil etuvchilarga ya'ni mos ravishda X va Y o'qlaridagi proyeksiyalarga ajratamiz.

$$\Delta F_{my} = \Delta F_m \cos \alpha$$

$$\Delta F_{mx} = \Delta F_m \sin \alpha.$$

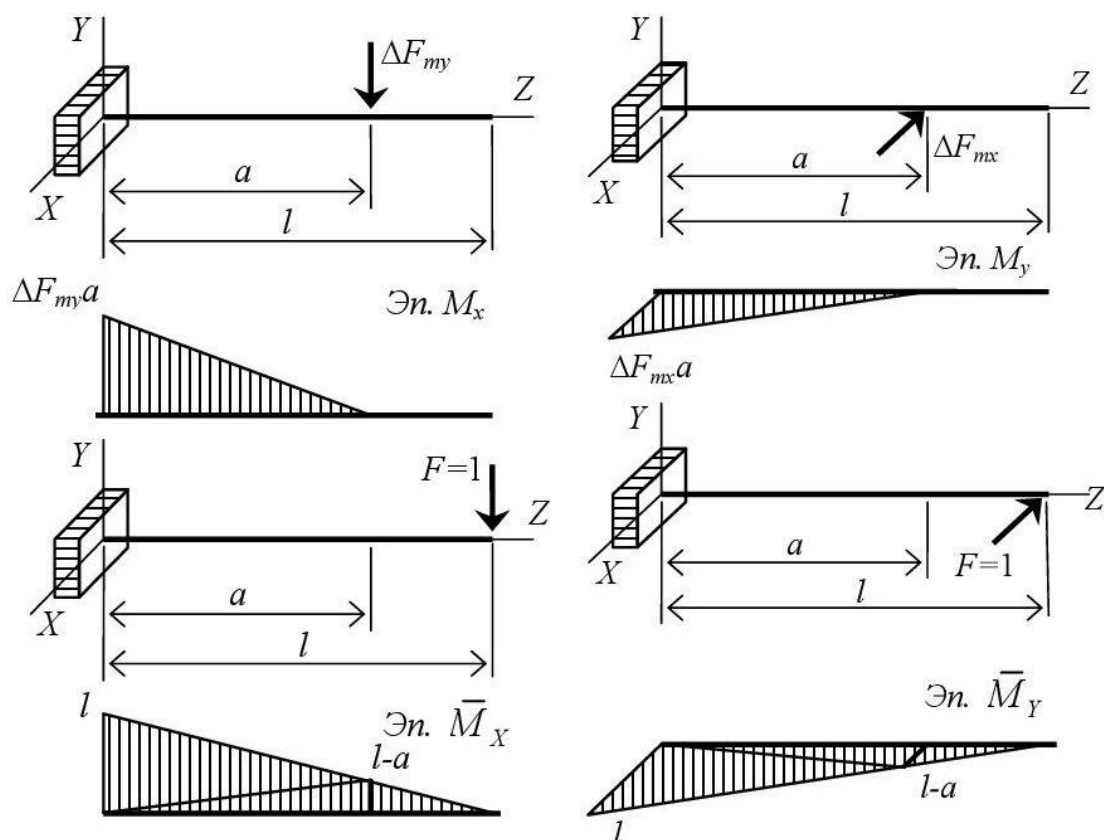
Qistirib mahkamlangan joyda to'sin hisobiy kesimida ΔF_{my} X o'qiga nisbatan eguvchi momentni hosil qiladi.

ΔF_{mx} tashkil etuvchi Y o'qiga nisbatan eguvchi momentni hosil qiladi.

$$M_x = \Delta F_{my} \cdot a ;$$

$$M_y = \Delta F_{mx} \cdot a.$$

Shunday qilib, qiyshiq egilish XZ va YZ tekisliklarida ikkita oddiy tekis egilishni vujudga keltiradi. Ikkala tekisliklardagi eguvchi momentlar epyurasini quramiz (11.3 – rasm).



11.3 – rasm. ZY tekisligidagi va ZX tekisligidagi birlik va yuk epyuralari.

Ko‘rinib turibdiki to‘sinning barcha kesimlarida eguvchi moment bir xil o‘zgaradi. Shuning uchun tatqiqot to‘sinni tekis qiyshiq egilishga tatqiqotlanadi.

X va Y bosh inersiya o‘qlarining yo‘nalishi bo‘yicha to‘sinning ko‘chishi

To‘sin ko‘chishlarini hisoblash uchun Maksvell – Mor usulidan foydalanamiz (Vereshchagin):

$$V_y = \frac{M_x \bar{M}_x}{EI_x} = \frac{1}{EI_x} \left\{ \frac{1}{2} F_{my} \cdot a \cdot a \left[\frac{2}{3} l + \frac{1}{3} (l - a) \right] \right\};$$

$$V_x = \frac{M_y \bar{M}_y}{EI_y} = \frac{1}{EI_y} \left\{ \frac{1}{2} F_{mx} a a \left[\frac{2}{3} l + \frac{1}{3} (l - a) \right] \right\}.$$

E – to‘sin materialining elastiklik moduli:

$I_x = \frac{bh^3}{12}$; bosh X o'qiga nisbatan to'sin to'g'ri burchakli ko'ndalang kesimining inersiya momenti.

$I_y = \frac{hb^3}{12}$. To'g'ri burchakli ko'ndalang kesim yuzining markaziy bosh o'qlarga nisbatan inersiya momentlari. X,Y – kuchlanish izlanayotgan S nuqtaning koordinatalari.

Eslatib o'tamizki, X va Y o'qlar simmetriya o'qlaribo'lgani uchun ko'ndalang kesim yuzining markaziy bosh inersiya o'qlari deyiladi.

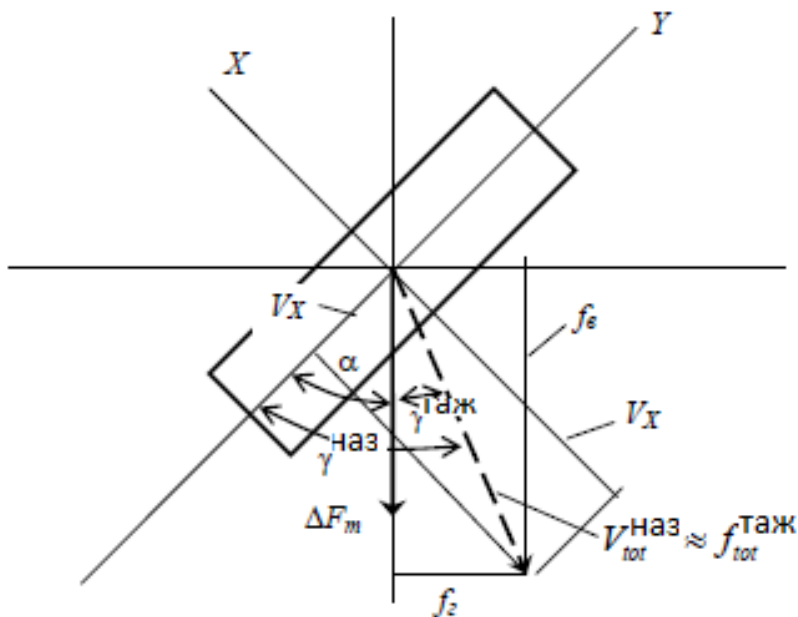
To'liq ko'chish va uning yo'nalishlari

To'sin hisobiy kesimining to'liq ko'chishi (11.4 - rasm), X va Y o'qlarining yo'nalishi bo'yicha ko'chishlarning geometric yig'indi sifatida aniqlanadi.

$$V_{tot}^{naz} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}.$$

To'sin tekis qiyshiq egilishga tatqiqotlanayotganligini e'tiborga olib, to'sin hisobiy kesimining to'liq ko'chishi yo'nalishi γ burchakni quyidagi formuladan topamiz.

$$\tan \gamma^{naz} = \frac{I_x}{I_y} \cdot \tan \alpha.$$



11.4 – rasm. To'sin ko'chishlarining joylanish sxemasi.

NATIJALARNI TAQQOSLASH, HISOBOTNI TO'LDIRISH VA XULOSALAR

Nazariy hisoblashlardan va tajribadan olingan to'liq ko'chishning qiymatlarini taqqoslash:

$$\left| \frac{f_{(tot)}^{taj} - f_{(tot)}^{naz}}{f_{(tot)}^{naz}} \right| \cdot 100.$$

Tajribadan va nazariy hisoblashlardan olingan natijalarni taqqoslash asosida qiyshiq egilishda to'sin ko'chishlarini hisoblash usulining haqqoniyligini xulosalash.

O'tkazilgan tajriba natijalari va bajarilgan nazariy hisoblashlar bo'yicha ilovada ko'rsatilgan formadagidek hisobot yozish.

Nazorat savollari

1. Qanday qarshilikning ko'rinishiga qiyshiq egilish deyiladi?
2. Qiyshiq egilish qanday ikki turga bo'linadi?
3. Tekis va fazoviy qiyshiq egilish bir – biridan qanday farq qiladi?
4. Tekis va fazoviy qiyshiq egilishda neytral o'qning holati qanday aniqlanadi?
5. Tekis va fazoviy qiyshiq egilishda to'liq ko'chishning yo'nalishi qanday aniqlanadi?
6. Qiyshiq egilishning soddalashgan ko'rinishini qanday o'rnatish mumkin?
7. Laboratoriya ishidan ko'zda tutilgan maqsad qanday?
8. Tatqiqotni o'tkazishda qanday talablar qo'yilgan?
9. Tatqiqot qurilmasi qanday qismlar va detallardan tashkil topgan?
9. Nima sababdan tekislikdagi eguvchi moment yig'indisining holati vertical joylashgan?
10. Laboratoriya ishida qanday o'lchov asboblari va uskunalar ishlatilgan?
11. Laboratoriya ishida namuna nimadan tashkil topgan?
12. To'sinni qiyshiq egilishga tatqiqot o'tkazish tartibi qanday?

13. Tatqiqot natijalarining jadvali qanday to'ldiriladi?
14. Deformasiya grafigi qanday quriladi?
15. Ko'chishning tajribaviy qiymati qanday hisoblanadi?
16. To'sinning to'liq ko'chishini tajriba ma'lumotlari bo'yicha qanday aniqlanadi?
17. To'liq ko'chishning yo'nalishi tajriba ma'lumotlari bo'yicha qanday aniqlanadi?
18. To'sinning hisoblash sxemasi qanday ko'rinishga ega?
19. Nima sababdan laboratoriya ishida to'sinni tekis qiyshiq egilishga tatqiqotlanadi?
20. Yuklar qanday tartibda to'singa joylashtiriladi?
21. Qistirib mahkamlangan joyda eguvchi moment qanday aniqlanadi?
22. Eguvchi momentning birlik va yuk epyuralari qanday quriladi?
23. Maksvell – Mor (Vereshchagin) usulida bosh markaziy inersiya o'qlarining yo'nalishi bo'yicha to'sinning ko'chishi qanday hisoblanadi?
24. To'sindagi to'liq ko'chish tajriba natijalari bo'yicha qanday aniqlanadi?
25. To'liq ko'chishning yo'nalishi tajriba natijalariga asosan qanday aniqlanadi?
26. Tajriba va nazariy yo'l bilan aniqlangan ko'chishlar qanday taqqoslanadi?
27. Tatqiqot natijalariga ko'ra qanday xulosalar chiqarish mumkin?

№12. LABORATORIYA ISHI

MARKAZIY BO'LMAGAN CHO'ZILISHNI TATQIQOTLASH

Markaziy bo'lmagan cho'zilish (siqilish) – bu qarshilikning shunday bir turi bo'lib, sterjenning bo'ylama o'qi bilan mos tushmagan bo'ylama kuch ta'sirida vujudga keladi.

Sterjen o'qiga parallel lekin u bilan mos tushmagan siquvchi kuchdan vujudga kelgan qarshilik turiga aytiladi. Sistema geometrik va fizik chiziqli ko'chish uning o'lchamlariga nisbatan juda kichik bo'lib Guk qonuniga bo'ysunadi. Unda kuch ta'siriga bog'liq bo'lmagan jarayon haqqoniydir. Markaziy cho'zilayotgan yoki siqilayotgan sterjen uzun bo'lsin. Ikkala tekislikdagi markaziy cho'zilish (siqilish) va egilishdagi qarshilikning oddiy turlari yig'indisi sifatida tasvirlangan bo'lishi mumkin, markaziy cho'zilish – siqilishda bu shartlarning bajarilishiga qarshilikning murakkab turi deyiladi. Markaziy cho'zilish – siqilish va egilishlar uchun ishlatilgan barcha formulalar markaziy bo'lmagan cho'zilish – siqilishlar uchun ham o'rinlidir. Markaziy bo'lmagan cho'zilish – siqilishni tatqiqotlashda sterjenni mustahkamlikka hisoblash uchun kesimdan xavfli nuqta holatini topish talab etiladi. Agarda sterjen materiali cho'zilish – siqilishda turli xil mustahkamlikka ega bo'lsa xavfli nuqtaning holatini kesimning cho'zilayotgan va siqilayotgan qismidan axtarish kerak. Buning uchun kesimni cho'zilish – siqilishzonasini ajratib turuvchi nol neytral chiziq holatini topish talab etiladi.

Sterjen kesimidagi kuchlanish nolga teng bo'lgan barcha nuqtalarni birlashtirib turuvchi chiziqqa **nol chiziq yoki neytral o'q** deyiladi.

Xavfli nuqta deb kesimning cho'zilish va siqilish qismi nol chiziqdan maksimal uzoqlikda yotgan nuqtaga aytiladi.

Qarshilikning bunday turlari ko'prik tayanchlarida, ustun tagidagi fundamentlarida, sanoat korpuslari ustunlarida va boshqa joylarda tatqiqotlanadi.

Tatqiqotdan ko'zda tutilgan maqsad

1. Tajriba sterjenining belgilangan nuqtalaridagi normal kuchlanishni eksperimentdan aniqlash va ularning kesim bo'yicha joylashish xarakterini o'rnatamiz.
2. Shu nuqtalardagi normal kuchlanishlarni nazariy yo'l bilan hisoblash.
3. Kuchlanishlarni taqqoslash va hisoblash formulalari haqida xulosalar chiqarish.

KERAKLI MA'LUMOTLAR

Tatqiqotlash talablari

Tatqiqotlanayotgan sterjendagi normal kuchlanishning qiymati mutanosiblik qiymatidan ortib ketmasligi kerak, yuklanish statik bo'lishi kerak. Namunani yuklash bir tekis, siltanishsiz va tebranishsiz bo'lmog'i zarur.

Tatqiqotlash qurilmasi

Tajribani o'tkazish uchun R – 50 gidravlik press ishlatiladi. Press kuchlarni o'zi o'lchaydi va yozib borishga moslashgan.

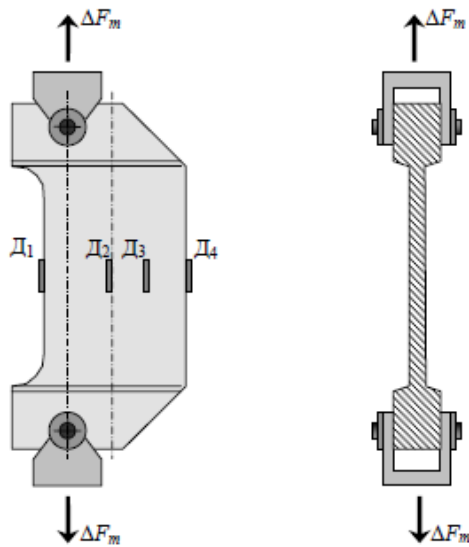
O'lchov asbob – uskunalari

Ko'ndalang kesim yuzasining o'lchamlarini aniqlash uchun bo'linish bahosi 0,1 mm li shtangensirkul va po'lat chizg'ich ishlatiladi. Sterjen tolalarining deformasiyasini o'lchash uchun simli qarshilik datchiklari va IDTS – 1 deformasiyani sifrli o'lchagich bo'linish bahosi $\alpha = 1 \cdot 10^{-5}$ ham $K = 2,1$ koeffitsiyentli ishlatiladi. Cho'zuvchi kuch yo'nalishi bilan mos kelgan tola yo'nalishiga bo'ylama tolalar deyiladi. Shunday qilib, kuchlarning ta'sir chiziqlari vertikal bo'ylama tolalar deformatsiyasini o'lchash uchun datchiklarni shunday yelimlash kerakki uning joylashuvchanligi vertikal bo'lishi kerak.

Tatqiqot namunasi

12.1 – rasmda tatqiqot namunasi sifatida kesimi to'g'ri burchakli po'lat plastina ishlatilgan. Plastinaning ikkala oxirgi uchki qismiga

sharnirlar o'rnatilgan, yuklanish uzlikli bo'lmashligi va (zaxvat) ishonchligini ta'minlaydi. Qo'yilgan kuchning eksentrisitetini oshirish uchun plastinkaga teshik o'rnatilgan.



12.1 – rasm. Markaziy bo'lmagan cho'zilishga tatqiqotlash namunasi.

Ko'ndalang kesim yuzasi bo'yicha uzeldagi to'plangan kuchning tarqalishini ta'minlash uchun namunaning oxirgi qismiga teshik qilingan.

Tatqiqotni o'tkazish tartibi va natijalarni qayta ishlash.

Tatqiqotni o'tkazish tartibi

1. Tatqiqot mashinasining ishlash jarayoni va asosiy qismlar bilan tanishish.
 2. Namuna bilan, yukka bog'liqligi bo'yicha uning holati va uzellar, uning mahkamlanishi bilan tanishish.
 3. Ishchi kompensasiyalovchi datchiklarning holatini aniqlash.
 4. Pressni qo'shish va namunani ketma – ket pog'analab yuklash.
 5. IDTS – 1 asbobi bo'yicha har bir datchikdan ketma – ket sanoqlar olinib jurnalga yoziladi.
 6. Tatqiqot tugagandan keyin yuklar olinadi va press o'chiriladi.
- Tatqiqot natijalari bilan jadval to'ldiriladi va to'sin deformatsiyasining grafigi quriladi.

O'lchov natijalarini qayta ishlash. IDTS – 1 asbobidan olingan yukning orttirmalari va olingan sanoqning orttirmalarini hisoblaymiz. Buning uchun navbatdagi yuklanishdan oldingi yuklanishni ayiramiz. Hosil qilingan orttirmaning jadvalning tegishli ustuniga yozamiz. Barcha to'rtala datchiklar bo'yicha olingan sanoqlardan ham xuddi shu ishlar bajariladi. Asboblardan olingan sanoqlar bo'yicha va yuklanishning o'rtacha orttirmasini hisoblaymiz:

$$\Delta n_m = \frac{\sum \Delta n_{Bi}}{6};$$

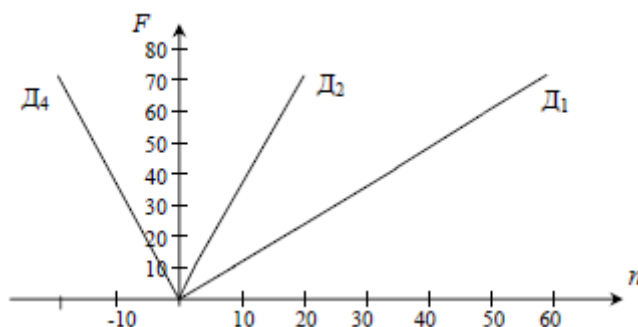
$$\Delta F_m = \frac{\sum \Delta F_i}{6}.$$

Hosil qilingan orttirmaning o'rtacha qiymatini tatqiqot natijalari jadvaliga yozamiz.

Tatqiqot natijalari

Юк кН		Д ₁		Д ₂		Д ₃		Д ₄	
F	ΔF	n ₁		n ₂		n ₃		n ₄	
F ₁		n ₁₁		n ₁₂		n ₁₃		n ₁₄	
	ΔF ₂₁		Δn ₁₁		Δn ₁₂		Δn ₁₃		Δn ₁₄
F ₂		n ₂₁		n ₂₂		n ₂₃		n ₂₄	
	ΔF ₃₂		Δn ₂₁		Δn ₂₂		Δn ₂₃		Δn ₂₄
F ₃		n ₃₁		n ₃₂		n ₃₃		n ₃₄	
	ΔF ₄₃		Δn ₃₁		Δn ₃₂		Δn ₃₃		Δn ₃₄
F ₄		n ₄₁		n ₄₂		n ₄₃		n ₄₄	
	ΔF ₅₄		Δn ₄₁		Δn ₄₂		Δn ₄₃		Δn ₄₄
F ₅		n ₅₁		n ₅₂		n ₅₃		n ₅₄	
	ΔF ₆₅		Δn ₅₁		Δn ₅₂		Δn ₅₃		Δn ₅₄
F ₆		n ₆₁		n ₆₂		n ₆₃		n ₆₄	
	ΔF ₇₆		Δn ₆₁		Δn ₆₂		Δn ₆₃		Δn ₆₄
F ₇		n ₇₁		n ₇₂		n ₇₃		n ₇₄	
ΔF _m		Δn _{m1}		Δn _{m2}		Δn _{m3}		Δn _{m4}	

12.2-rasmda. Guk qonunining haqqoniyligini tasdiqlash uchun to'sin deformasiyasining grafigini quramiz. Vertikal o'q bo'ylab yuklarni joylashtiramiz, asbobning ko'rsatishi gorizontal.



12.2 – rasm. Yukdan sterjen tolalaridagi deformasiyaning bog'liqlik grafigi.

Tatqiqot natijalari

Datchiklar yelimlangan joydagi barcha nuqtalarning nisbiy chiziqli bo'ylama deformasiyani quyidagi formulalar yordamida hisoblaymiz.

$$\varepsilon_1 = \frac{2\Delta n_{m1}\alpha}{K}; \varepsilon_2 = \frac{2\Delta n_{m2}\alpha}{K}; \varepsilon_3 = \frac{2\Delta n_{m3}\alpha}{K}; \varepsilon_4 = \frac{2\Delta n_{m4}\alpha}{K}.$$

Guk qonunini e'tiborga olib, namunaning hisobiy nuqtalaridagi normal kuchlanishlarni aniqlaymiz:

$$\sigma_1 = E\varepsilon_1; \sigma_2 = E\varepsilon_2; \sigma_3 = E\varepsilon_3; \sigma_4 = E\varepsilon_4.$$

NAZARIY HISOBLASH NATIJALARI

To'sin hisobiy kesimidagi normal kuchlanish

Shunday qilib markaziy bo'lmagan cho'zilishda namunani tortayotgan N bo'ylama kuchning ishorasi "plyus" deb qabul qilinadi.

$$N = +\Delta F_m.$$

Sterjen kesimining hisobiy nuqtalaridagi normal kuchlanish, markaziy cho'zilish ta'sirida ikkala eguvchi momentlar – bosh markaziy X o'qiga nisbatan eguvchi moment hamda bosh markaziy Y o'qiga nisbatan eguvchi momentlardan hosil bo'lgan kuchlanishlari yig'indisi sifatida hisoblanadi:

$$\sigma_{(k)} = \frac{N}{A} + \frac{M_X}{I_x} Y_k + \frac{M_Y}{I_Y} X_k.$$

Bu yerda A – sterjen ko'ndalang kesim yuzasi;

$M_X = Ny_F$ – bosh markaziy X o'qiga nisbatan qo'yilgan kuchning ekssentrisiteti ta'siridagi eguvchi moment.

$M_Y = Nx_F$ – bosh markaziy Y o'qiga nisbatan qo'yilgan kuchning ekssentrisiteti ta'sirida hosil bo'lgan eguvchi moment.

x_F, y_F – ko'ndalang kesimining bosh markaziy o'qlari inersiya momentiga nisbatan kuch qo'yilgan nuqtaning koordinatalari.

I_X, I_Y – ko'ndalang kesimning bosh markaziy inersiya momentlari:

$$I_X = \frac{bh^3}{12};$$

$$I_Y = \frac{hb^3}{12}.$$

k – datchiklar joylashgan nuqtaning hisobiy nomeri.

Shuni eslatib o'tamizki kuch shunday ulardan bitta kuch qo'yilgan nuqtaning ekssentrisiteti nolga teng: $y_F = 0$. Shuning

uchun $M_x = 0$ eguvchi moment nolga teng. Formulada normal kuchlanishning hisobi soddalashishi uchun va quyidagi ko'rinishni oladi.

$$\sigma_{(k)} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} \cdot x_k.$$

Oldindan bizga ma'lumki, X va Y bosh markaziy inersiya o'qlaridir shuning uchun to'g'ri burchakli ko'ndalang kesim yuzasining simmetriya o'qlari hisoblanadi. Nol chiziqning holati quyidagi formula yordamida aniqlanadi.

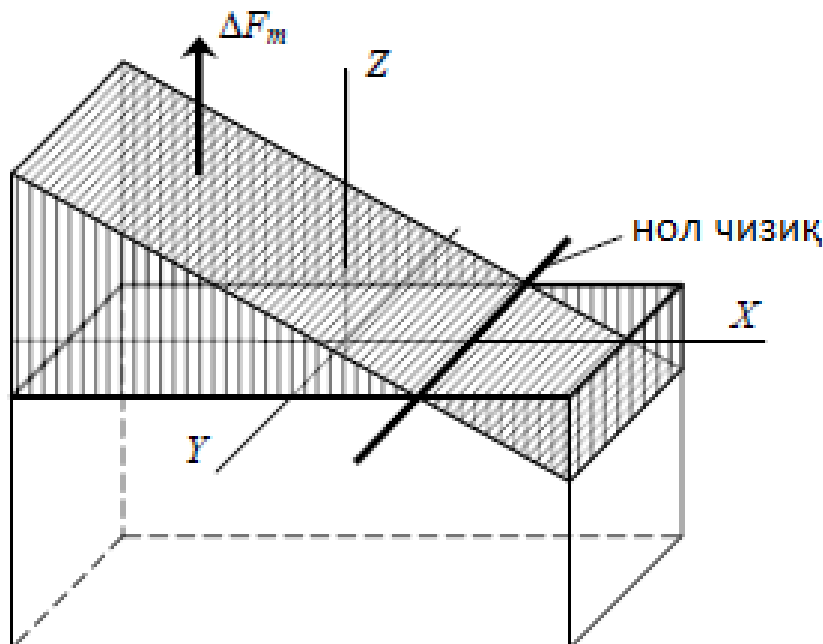
$$x_0 = -\frac{I_y}{Ax_F};$$

$$y_0 = -\frac{I_x}{Ay_F}.$$

ΔF_m kuch qo'yilgan nuqtaning tkssentrisiteti y_F nolga teng bo'lgani uchun nol chiziqning kesishgan bo'lagi $y_0 \rightarrow \infty$. Demak, nol chiziq Y o'qiga parallel joylashgan.

Normal kuchlanish epyurasini qurish

12.3-rasmda normal kuchlanishning topilgan qiymatlari bo'yicha uning epyurasini quramiz.



12.3-rasm. Tajriba namunasi ko'ndalang kesimidagi normal kuchlanish epyurasining ko'rinishi.

Natijalarini taqqoslash, xulosalar va hisobotni yozish.

$$\left| \frac{\sigma_{(k)}^{\text{таж}} - \sigma_{(k)}^{\text{наз}}}{\sigma_{(k)}^{\text{наз}}} \right| \cdot 100.$$

Taqqoslash qulay bo'lishi uchun jadvalni quyidagi ko'rinishda to'ldiramiz

Natijalarni taqqoslash

кучланиш	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
тажрибавий	$\sigma_{(1)}^{\text{таж}}$	$\sigma_{(2)}^{\text{таж}}$	$\sigma_{(3)}^{\text{таж}}$	$\sigma_{(4)}^{\text{таж}}$
назарий	$\sigma_{(1)}^{\text{наз}}$	$\sigma_{(2)}^{\text{наз}}$	$\sigma_{(3)}^{\text{наз}}$	$\sigma_{(4)}^{\text{наз}}$
фарқи, %	$\left \frac{\sigma_{(1)}^{\text{таж}} - \sigma_{(1)}^{\text{наз}}}{\sigma_{(1)}^{\text{наз}}} \right \times 100.$	$\left \frac{\sigma_{(2)}^{\text{таж}} - \sigma_{(2)}^{\text{наз}}}{\sigma_{(2)}^{\text{наз}}} \right \times 100.$	$\left \frac{\sigma_{(3)}^{\text{таж}} - \sigma_{(3)}^{\text{наз}}}{\sigma_{(3)}^{\text{наз}}} \right \times 100.$	$\left \frac{\sigma_{(4)}^{\text{таж}} - \sigma_{(4)}^{\text{наз}}}{\sigma_{(4)}^{\text{наз}}} \right \times 100.$

O'tkazilgan tajriba natijalari hamda bajarilgan nazariy hisoblashlar bo'yicha xulosa chiqarish hamda ilovada keltirilgandek hisobot yozish.

Nazorat savollari

1. Markaziy bo'lmagan cho'zilish va markaziy bo'lmagan siqilishlar qarshilikning qanday turini ifodalaydi?
2. Markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilish qachon paydo bo'ladi?
3. Oddiy qarshilikning qanday turlariga markaziy bo'lmagan cho'zilish (siqilish) deyiladi?
4. Nol chiziqqa tariff bering?
5. Nol chiziq kesimni necha qismga ajratadi?
6. Markaziy bo'lmagan (siqilish) cho'zilishda ko'ndalang kesimdagi xavfli nuqtasi qanday topiladi?
7. Laboratoriya ishidan qanday maqsad lo'zda tutilgan?
9. Markaziy bo'lmagan (siqilish) cho'zilishda sterjenni tatqiqotiga qanday talablar qo'yilgan?
8. Tajriba qanday tatqiqot mashinasida o'tkaziladi?
9. Laboratoriya ishida qanday o'lchov asbob-uskunalar ishlatilgan?

10. Simli datchiklar qurilishi qanday va nimaga mo'ljallangan?
11. Namunaga datchiklar qanday joylashtirilgan?
12. Namuna qanday shaklga ega va u qanday materialdan tayyorlangan?
13. Namuna chetidagi uzellar nimaga mo'ljallangan?
14. Namunadagi teshiklarning vazifasi nimadan iborat?
15. Namunani tatqiqotlash qanday tartibda o'tkaziladi?
16. Tatqiqot natijalari jadvali jadvali qanday to'ldiriladi?
17. Yuklash orttirmasining o'rtacha qiymati hamda asbob ko'rsatgichlarining orttirmasi qanday hisoblanadi?
18. Yuklashdan deformatsiyaga bog'liqlik grafigi qanday quriladi?
19. Namunadagi nisbiy chiziqli deformatsiya qanday hisoblanadi?
20. Namuna kesimidagi tajribaviy normal kuchlanishning qiymati qaysi formula yordamida hisoblanadi?
21. Nima sababdan bo'ylama kuchning ishorasi musbat deb qabul qilingan?
22. Yukning markaziy bo'lmagan ta'sirida bo'ylama kuchning ishorasi manfiy bo'lishi mumkinmi?
23. Markaziy bo'lmagan yukning ta'sirida sterjen ko'ndalang kesimidagi nazariy normal kuchlanishning qiymati qaysi formula yordamida hisoblangan?
24. Qo'yilgan yuk eksentrisiteti ta'sirida eguvchi moment qanday hisoblanadi?
25. Nima sababdan laboratoriya ishida normal kuchlanishni hisoblash uchun to'liqmas formula ishlatiladi?
26. Nol chiziqning holati qanday aniqlanadi?
27. Markaziy bo'lmagan yuk ta'sirida normal kuchlanishning epyurasi ko'rinishini oladi?
28. Tajriba natijalari hamda nazariy hisoblash natijalari qanday taqqoslanadi?
29. O'tkazilgan laboratoriya natijalari bo'yicha qanday xulosalar chiqarish mumkin?

№13. LABORATORIYA ISHI

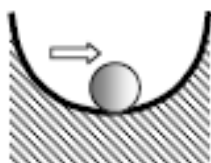
SIQILAYOTGAN STERJENNING USTIVORLIGINI TATQIQOTLASH

Ko'pgina hollarda mustahkamlik shartlarining bajarilishida inshootlar ekspluatatsiyasining normal xavfsizligini ta'minlash uchun markaziy siqilishning o'zi yetarli emas. Siqilishga ishlayotgan sterjen plita, qobiqlar o'zshaklini o'zgartirishi natijasida turg'unligini yo'qotib qo'poriladi. Muvozanat holatining turg'un va turg'un emasligi to'g'risida tushuncha beramiz. Agarda oz miqdordagi turtki natijasida sistema muvozanat holatidan bir oz o'zgaradi, sistemadan turtkini qaytarib olinganda u o'z - o'zidan dastlabki holatini qayta tiklaydi, bunday holatga turg'un muvozanat holati deyiladi.

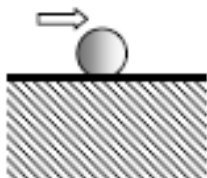
Agarda oz miqdordagi turtki natijasida muvozanat holatida katta o'zgarish bo'lsa, turtki qaytarib olinganda sistema o'zining boshlang'ich holatini tiklay olmasa, bunday holatga turg'un bo'lmagan muvozanat holati deyiladi.

13.1 – rasmda bu holatlarni sharik misolida tushuntiramiz.

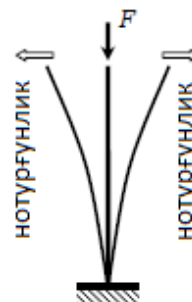
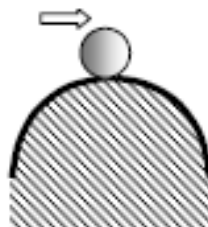
1 - ҳолат.



2 - ҳолат



3 - ҳолат.



Turg'un holat befarq holat turg'un bo'lmagan holat.

1-holat. Sharik turg'un muvozanat holatida joylashgan. Turtki ta'sirida sharik o'z muvozanat holatidan og'adi, turtki olingandan so'ng u o'zining boshlang'ich holatini egallaydi.

2-holat. Sharik befarq muvozanat holatida turibdi. Cheksiz ko'p hollarda sharik o'zining muvozanat holatini saqlaydi. Ya'ni bifurkatsiya sodir bo'ladi-muvozanat shaklining tarqalishi (разветвление)).

3-holat. Sharik turg'un bo'lmagan holatda joylashgan. Turtki ta'sirida sharik o'zining boshlang'ich holatidan siljiydi, turtki

olingandan so'ng u o'zining boshlang'ich holatini mustaqil egallay olmaydi.

Siqilgan sterjen uchun ham analogiya kuzatiladi. Siqilgan sterjen muvozanatda turg'un bo'lgan holatdan turg'un bo'lmagan holatga o'tish chegarasidan shunday siquvchi kuch mavjud. Bu siquvchi kuchni kritik deyiladi va F_{sr} deb belgilanadi.

Siquvchi kuch ($F < F_{cr}$) siqilgan sterjen turg'un muvozanat holatida bo'ladi va turtki olingandan so'ng ilgari (to'g'ri chiziqli) holatini egallaydi. (1 - holat). Siquvchi kuchning katta holatida ($F > F_{cr}$) sterjenning to'g'ri chiziqli (holati) formasi turg'un bo'lmagan deyiladi. Ozgina turtki ta'sirida muvozanat to'g'ri chiziqli formasidan sterjenning ko'pgina og'ishini vujudga keltiradi. Turtki olingandan so'ng sterjen mustaqil holda o'zining boshlang'ich holatiga ya'ni to'g'ri chiziqli muvozanat formasini egallay olmaydi.

Siqilgan sterjenni turg'unlikka (bo'ylama egilishga) hisoblashdan maqsad kritik kuchning F_{cr} aniqlashdir.

Pod **vozmumyeniymi** qurilmada hisobga olinmagan ta'sirlar to'g'risida tushunchalar, masalan: favqulodda ekssentrisitet hollardagi momentlar, sterjenning boshlang'ich egriligi, harorat ta'sirida sterjenning egrilanishi va boshqalar.

Turg'unlikni yo'qotish natijasida siqilgan sterjenning egilishdagi qarshiligiga **bo'ylama egilish** deyiladi.

Qurilmani turg'unlikka hisoblashning bir qancha usullari mavjud bo'lib bularga dinamik usul, Eyler usuli va energetik usullar kiradi. Qurilishda asosan Eyler usuli qo'llaniladi.

Eyler usuliga bifurkasiya tushunchasi kiradi, bifurkasiya nuqtasi hamda **muvozanatning aralash formasi**. Agarda siqilgan sterjen qandaydir sharoitda muvozanatning ko'plik formasiga ega bo'lsa, bunga aralash forma deyiladi (2 - holat). Agarda muvozanat bitta formadan iborat bo'lsa, bunday formada muvozanat bo'lmaydi. (1 - va 2 - holat).

Aralash formada muvozanat hosil bo'lsa bunga bifurkasiya yoki **razvetvleniyem form ravnovesiya** (muvozanat shaklining shoxlanishi). Bifurkasiya nuqtasi hosil bo'lsa bu 2 - holatga tegishlidir.

Eyler usulining asosiy g'oyasining xulosasi shundan iboratki muvozanat aralash formasi mavjuddir. Mumkin bo'lgan holatida bu formaning xarakteristikasi $F = F_{cr}$ tenglamadan yukning qiymati aniqlanadi.

Eylarning aniqlashiga ko'ra, siquvchi kuchning oz miqdorida muvozanat formasi kattalashib ketishiga kritik kuch deyiladi.

Shuni takidlab o'tish kerakki Eyler usulini siqilgan sterjen turg'unligi elastik stadiyda hisoblashda bor bo'lgan kuchlanish materialning mutanosiblik chegarasidan ortib ketmasligi kerak.

Doimiy siquvchi kuch ta'sirida deformasiyaning juda tez o'zgarishida bo'ylama egilish xavfli hisoblanadi. Hyech qanday tashqi o'zgarishsiz favqulodda qo'porilish vujudga keladi.

Ishdan ko'zda tutilgan maqsad

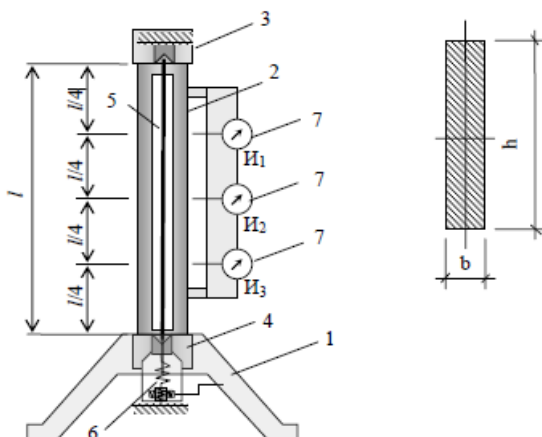
1. Siqilgan sterjen turg'unligining yo'qolishini o'rganish.
2. Tajriba va nazariy hisoblash usullarida topilgan kritik kuchning qiymatini taqqoslash.

KERAKLI MA'LUMOTLAR

Sinalayotgan sterjendagi normal kuchlanish mutanosiblik chegarasidan ortib ketmasligi shart, yuklanishni muloyim, siltanishsiz va tebratmasdan joylashtirish kerak.

Tatqiqot qurilmasi

13.2 – rasmda. Tajribani o'tkazish uchun stol ustidagi qurilma ishlatilgan.



13.2 – rasm. Siqilgan sterjenning ustivorligini tatqiqotlash uchun stol ustidagi qurilma:

- 1 – uch oyoqli ko'rinishdagi asos;
 2 – silindrik qolip (sirt); 3 – yuqorigi qo'zgalmas qism; 4 – quyi qismdagi

qo'zg'aluvchan qism; 5 – namuna (po'lat plastinka); 6 – chervyakli mexanizm; 7 – millitenzometrlar.

Uch oyoqli ko'rinishdagi asosga stol ustidagi qurilma joylashtirilgan bo'ylama bilan silindrik qoplama, yuqori qo'zg'almas va quyi qo'zg'aluvchan qismlar, po'lat plastinka, uchta milli tenzometrlar kuch o'lchagich chervyakli mexanizm bilan bo'ylama qoplama joylashgan.

O'lchov asbob va uskunalari

Ko'ndalang kesim o'lchamlarini aniqlash uchun po'lat chizg'ich va bo'linish bahosi 0,1mm li shtangensirkul ishlatiladi. Po'lat sterjenning siljishini aniqlash uchun bo'linish bahosi $\alpha = 0,01\text{mm}$ li uchta milli tenzometr (soat tipidagi indikator) ishlatilgan.

Tatqiqot namunasi

Tatqiqot namunasi sifatida kesimi to'g'ri burchakli po'lat plastina ishlatilgan. Plastinkaning har ikkala oxirgi qismlariga namunaning aniq joylashishi uchun pona shaklidagi qirqim yasalgan.

Tatqiqotni o'tkazish tartiblari va natijalarni qayta ishlash.

Tatqiqotni o'tkazish tartibi

1. Tatqiqot mashinasining ishlash jarayoni va asosiy qismlari bilan tanishish.

2. Namuna bilan tanishish, uning mahkamlanish qismi hamda yukka bog'liqligi bo'yicha uning holati.

3. Chervyakli mexanizm dastagini aylantirib yukni birinchi pog'anagacha ko'tarib kuch o'lchagich shkalasining ko'rsatgichlarini nazorat qilamiz.

4. Milli tenzometrlardan sanoqlarni olamiz.

5. Yukning qiymatlarini va tenzometr ko'rsatgichlarini tatqiqot jurnaliga yozamiz.

6. Ikkinchi va bundan keying yuklash pog'analarida 3 – 5 tartibdagi ishlar bajariladi.

7. Tatqiqot tugagandan so'ng chervyakli mexanizm dastagi aylantirilib namunadan yuk olinadi.

Tatqiqot natijalari jadvali to'ldiriladi namunaning egrilanish grafigini qurish

Kuch o'lchagichdagi sanoqlar bo'yicha, dinamometrning bo'linish bahosi α ni hisobga olgan holda namunadagi kuchni hisoblaymiz:

$$F_k = \alpha n_k$$

va ularni jadvalga yozamiz.

Tenzometrlardagi sanoqlar bo'yicha va uning α_u bo'linish bahosini hisobga olib namuna nuqtasining siljishini hisoblaymiz.

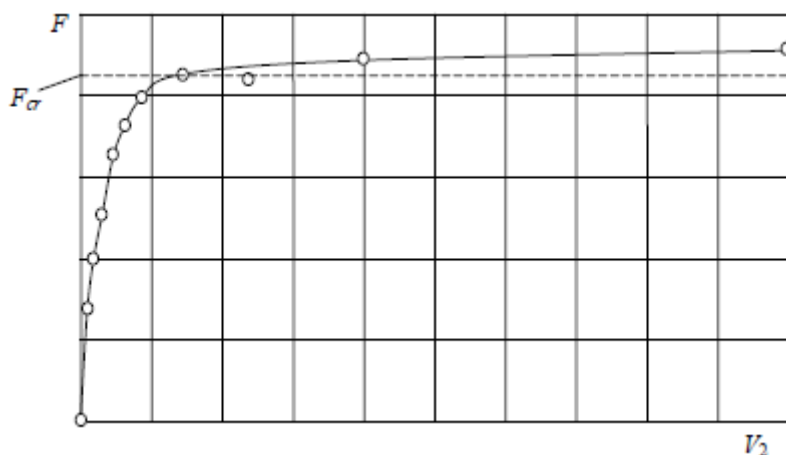
$$V_{i(k)} = \alpha_u n_{iu(k)}$$

va ularni jadvalga yozamiz.

Turg'unlikdagi tatqiqot natijalari

№ погона	хисобот n, мм	Юк F, Н	H ₁		H ₂		H ₃	
			n_{1u}	$V_1, \text{мм}$	n_{2u}	$V_2, \text{мм}$	n_{3u}	$V_3, \text{мм}$
1.	n_1	F_1	$n_{1u(1)}$	$V_{1(1)}$	$n_{2u(1)}$	$V_{2(1)}$	$n_{3u(1)}$	$V_{3(1)}$
2.	n_2	F_2	$n_{1u(2)}$	$V_{1(2)}$	$n_{2u(2)}$	$V_{2(2)}$	$n_{3u(2)}$	$V_{3(2)}$
3.	n_3	F_3	$n_{1u(3)}$	$V_{1(3)}$	$n_{2u(3)}$	$V_{2(3)}$	$n_{3u(3)}$	$V_{3(3)}$
4.	n_4	F_4	$n_{1u(4)}$	$V_{1(4)}$	$n_{2u(4)}$	$V_{2(4)}$	$n_{3u(4)}$	$V_{3(4)}$
5.	n_5	F_5	$n_{1u(5)}$	$V_{1(5)}$	$n_{2u(5)}$	$V_{2(5)}$	$n_{3u(5)}$	$V_{3(5)}$
6.	n_6	F_6	$n_{1u(6)}$	$V_{1(6)}$	$n_{2u(6)}$	$V_{2(6)}$	$n_{3u(6)}$	$V_{3(6)}$
7.	n_7	F_7	$n_{1u(7)}$	$V_{1(7)}$	$n_{2u(7)}$	$V_{2(7)}$	$n_{3u(7)}$	$V_{3(7)}$
8.	n_8	F_8	$n_{1u(8)}$	$V_{1(8)}$	$n_{2u(8)}$	$V_{2(8)}$	$n_{3u(8)}$	$V_{3(8)}$
9.	n_9	F_9	$n_{1u(9)}$	$V_{1(9)}$	$n_{2u(9)}$	$V_{2(9)}$	$n_{3u(9)}$	$V_{3(9)}$
10.	n_{10}	F_{10}	$n_{1u(10)}$	$V_{1(10)}$	$n_{2u(10)}$	$V_{2(10)}$	$n_{3u(10)}$	$V_{3(10)}$

Siquvchi kuchlardan uning egrilanishini hisobga olib namunaning og'ish qonuniyati analizi uchun grafikni quramiz. Vertikal o'qqa yuklarni joylashtiramiz gorizont al o'qqa ikkinchi tenzometr ko'rsatkichlarini joylashtiramiz. 13.3 – rasm.



13.3 – rasm. Siquvchi kuchlardan uning egrilanishi natijasida sterjenning og‘ishiga bog‘liqlik grafigi.

Tatqiqot natijalari

13.3 – rasmda tasvirlangandek siquvchi kuchlar ta’siridan sterjen og‘ishiga bog‘liqlik grafigidan ayrim chegaragacha bu grafik to‘g‘ri chiziqni ifodalaydi ya’ni deformasiya yukka to‘g‘ri mutanosibdir. Bu hollarda siquvchi kuch kritik kuchdan kichik bo‘lgani uchun sterjen markaziy siqilishga ishlaydi. Uning qarshiligi juda katta. Kuch qanchalik ortib borsa grafikda sezilarli og‘ish kuzatiladi, grafik deyarli gorizontaldir. Bu degani siquvchi kuch kritik kuchdan katta.

Bularni e’tiborga olib siquvchi kritik kuchning qiymatini (oriyentirovochno) aniqlaymiz, sterjen deformasiyasining tavsifida kuzatiladi. Bu joy grafikda shtrixlangan chiziq bilan shartli ravishda belgilangan jadvalda – (zatushevko) qiymatga mos.

Eyler ko‘rsatmasini tasdiqlash uchun siqilgan sterjen egrilik formasi sinusoida ko‘rinishidagi turg‘unligini yo‘qotish vaqtida sterjenning uchta joyidagi og‘ish qiymatini yozamiz.

$$V_{1(8)}; V_{2(8)} V_{3(8)}.$$

NAZARIY HISOBLASH NATIJALARI

Kritik siquvchi kuch va kritik kuchlanish

$\sigma_{cr} = \sigma_{pr}$; shart bo‘yicha siqilgan sterjenning egiluvchanlik chegarasini aniqlaymiz:

$$\lambda_v = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{pr}}}.$$

Bu kattalikka ba'zan yuqori egiluvchanlik chegarasi deyiladi.

Keyin tatqiqotlanayotgan sterjenning egiluvchanligini aniqlaymiz:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{min}},$$

Bu yerda μ - siqilgan sterjenning mahkamlanishiga bog'liq bo'lgan sterjen keltirilgan uzunlik koeffitsiyenti.

l – sterjen uzunligi;

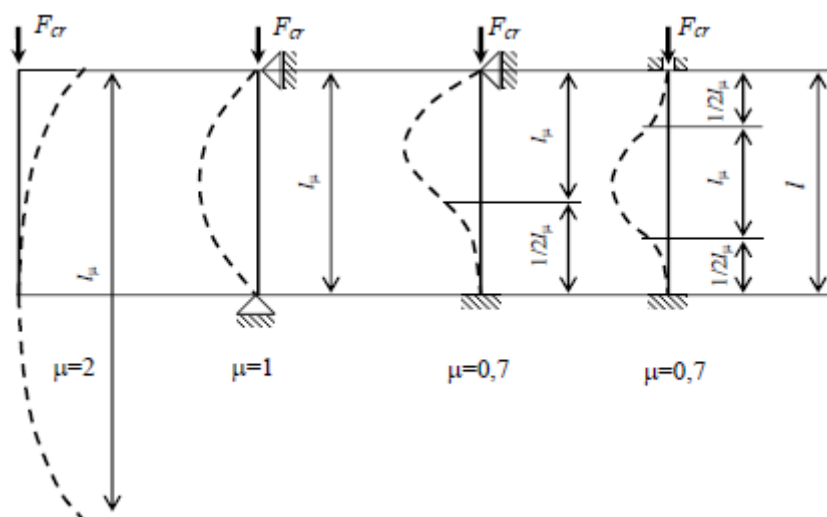
i_{min} - ko'ndalang kesimining minimal inersiya radiusi.

Sterjen turg'unligining yo'qolish vaqti to'lqin shaklida ro'yberadi.

Sterjen (iskrivleniya) tarqalish formasi uning mahkamlanish shartlariga bog'liq.

Qachonki sterjen uzunligida yarim to'lqin joylashgan bo'lsa bunga keltirilgan uzunlik deyiladi va l_μ bilan belgilanadi.

Sterjen haqiqiy uzunligining keltirilgan uzunlikka nisbati μ harfi bilan belgilanadi va keltirilgan uzunlik koeffitsiyenti deyiladi. 13.4 – rasm.



13.4 – rasm. Har xil mahkamlangan holatlarda turg'unligini yo'qotish vaqtidagi siqilgan sterjenning egrilanish formulalari.

Siqilgan sterjen ko'ndalang kesimining minimal inersiya radiusi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi.

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A_{bg}}} = \sqrt{\frac{I_V}{A_{bv}}}.$$

Bu yerda I_{min} yoki I_V - siqilgan sterjen ko'ndalang kesimining bosh markaziy inersiya momentining minimal qiymatini bildiradi, A_{br} - sterjen ko'ndalang kesimining yuzasi mahalliy nuqsonlardan holi bo'lgan (yoriq, teshik va shunga o'xshash, tayyorlangan uncha kata bo'lmagan sterjen qismida).

$\lambda > \lambda_v$ shart bajarilganda Eyler usulini qo'llash mumkin.

Agarda bu shart bajarilsa kritik kuchni siqilgan sterjen uchun Eyler formulasi bo'yicha aniqlanadi:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{(\mu l)^2}; \sigma_{cr} = \frac{F_{cr}}{A_{br}}.$$

Bu shart bajarilmasa Yasinskiy formulasi bo'yicha topiladi:

$$\sigma_{cr} = a - b\lambda; F_{cr} = \sigma_{cr} \cdot A_{br} /$$

Bu yerda a , b - empiric koeffitsiyent bo'lib spravochnikdan olinadi.

Sterjen materiali mutanosiblik chegarasi bilan hosil qilingan kritik kuchlanishni taqqoslash. Kritik kuchlanish mutanosiblik chegarasidan kichik bo'ladi:

$$\sigma_{sr} \leq \sigma_{pr}.$$

Siqilgan sterjen turg'unligini yo'qotish vaqtida egrilanish formasi.

Siqilgan sterjen turg'unligini yo'qotish vaqtida forma sinusoida ko'rinishida bo'lib, ruxsat etilgan Eyler bilan mos keladi.

$$V = B \sin \frac{\pi z}{l}.$$

Koeffitsiyent V sterjen uzunligining o'rtasidagi og'ish V_2 ga teng bo'lib tajribadan olingan qiymat qabul qilinadi. U holda sterjen og'ishi uzunligining to'rtidan birida turg'unligini yo'qotadi.

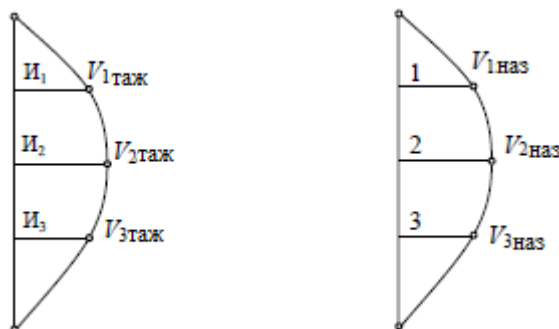
$$V_1 = V_3 = B \sin \frac{\pi z}{l} = V_2 \sin \left[\frac{\pi(\frac{l}{4})}{l} \right] = V_2 \sin \frac{\pi}{4}.$$

Natijalarni taqqoslash, xulosalar va hisobotni (to'ldirish) yozish.

Eyler usuli bo'yicha va tajribadan olingan kritik kuchning qiymatlarini taqqoslaymiz. Ularning farqini foizlarda baholaymiz:

$$\frac{F_{cr}^{taj} - F_{cr}^{naz}}{F_{cr}^{naz}} \cdot 100.$$

Eyler taklifining haqqoniyligini siqilgan sterjen sinusoidal formadagi egriligini turg'unligi yo'qolish (moment) vaqtidagi tajriba va nazariy hisoblashlardan olingan siljishlarni taqqoslaymiz. 13.5 – rasmda turg'unligining yo'qolish formasi tasvirlangan.



13.5 – rasm. Tajribadan va nazariy hisoblardan olingan siqilgan sterjen turg'unligining yo'qolishi vaqtidagi (moment) egrilik formasi (shakli).

Tajribadan va nazariy hisoblashlardan olingan natijalar bo'yicha hisobotni (to'ldirish) yozish.

Nazorat savollari

1. Turg'unligini yo'qotish jarayonida inshootdagi qo'porilish qanday sodir bo'ladi?
2. Muvozanatning turg'un holati deb qanday holatga aytiladi?
3. Muvozanatning turg'un bo'lmagan holati deb qanday holatga aytiladi?
4. Siqilgan sterjen qanday sharoitda muvozanatning turg'un holatida bo'ladi?
5. Siqilgan sterjen qanday sharoitda muvozanatning turg'un bo'lmagan holatida bo'ladi?
6. Mexanikaning muvozanat sistemalari ta'sirida nimani kuzatish mumkin?
7. Qarshilikning qanday turiga bo'ylamae gilish deyiladi?
8. Turg'unligini hisoblashda qanday usullar ishlatiladi?

9. Muvozanatning aralash formasini qanday tushunish mumkin va ular qanday sharoitda vujudga keladi? (sodirbo'ladi).
10. Bifurkatsiya deganda nimani tushunasiz?
11. Eyler usuli bo'yicha kritik kuch qanday aniqlanadi?
12. Siqilgan sterjenni hisoblash uchun Eyler usulini qachon qo'llash mumkin?
13. Bo'ylama egilish nimasi bilan xavfli?
14. Laboratoriya ishidan ko'zda tutilgan maqsad nimadan iborat?
15. Tajribani o'tkazish vaqtida qanday talablar qo'yilgan?
16. Tatqiqot qurilmasi qanday qurilgan va qanday qismlar va detallardan tashkil topgan?
17. Laboratoriya ishida qanday o'lchov asboblari va uskunalar ishlatilgan?
18. Namuna qanday joylashgan va u qanaqa materialdan tayyorlangan?
19. Tatqiqot namunasi siqilishga qanday tartibda o'tkaziladi?
20. Namunadagi yuk qanday aniqlanadi?
21. Siqilgan sterjenning hisoblash nuqtasidagi siljishi qanday aniqlanadi?
22. Siqilgan sterjen hisoblash nuqtasi og'ish bog'liqlik grafigi qanday quriladi?
23. Yukdan siqilgan sterjen markaziy nuqtasi og'ishi grafikka bog'liq ligining muhimligi qanday?
24. Nima uchun grafik qismlari quyidagicha to'g'ri chiziqqa yaqin uning boshqa qismi deyarli gorizontal chiziqdan iborat?
25. Grafik bo'yicha kritik kuch qanday aniqlanadi?
26. Sterjenning egiluvchanlik chegarasi qaysi formula bo'yicha aniqlanadi?
27. Sterjenning egiluvchanligi qaysi formula bo'yicha aniqlanadi?
28. Siqilgan sterjenning keltirilgan uzunligi deb nimaga aytiladi?
29. Siqilgan sterjenning keltirilgan uzunlik koeffitsiyenti nimani tavsiflaydi?

30.Siqilgan sterjenning keltirilgan uzunlik koeffitsiyenti nimaga bog'liqligidan va qanday qiymatlarni qabul qilishi mumkin?

31.Sterjen ko'ndalang kesimining minimal inersiya radiusi qanday hisoblanadi?

32.Qanday sharoitda siqilgan sterjen turg'unligini hisoblashda Eyler formulasini qo'llash mumkin?

33.Eyler formulasi bo'yicha siqilgan sterjen uchun kritik kuch qanday hisoblanadi?

34.Yasinskiy formulasi qanday ko'rinishga ega siqilgan sterjenni hisoblash uchun u qanday holda qo'llaniladi?

35.Eyler formulasiga asosan siqilgan sterjen turg'unligini yo'qotish vaqtida egrilanish formasi qanday o'zgaradi?

36.Tajribadan va nazariy hisoblashlardan olingan natijalar qanday taqqoslanadi?

37.Laboratoriya ishlari bo'yicha qanday xulosalar qilindi?

ADABIYOTLAR

1. Mehnatni muhofazalash bo'yicha qo'llanma (instruksiya). (Materiallar qarshiligi va elastiklik nazariyasi kafedrasida ishlab chiqilgan), 2010.

2. Aleksandrov A.V. Soprotivleniye materialov / A.V. Aleksandrov, V.D. Potapov, B.P. Derjavin; podred. A.V. Aleksandrova. M.: Vishshaya shkola, 1995. G' 560s.

3. Soprotivleniye materialov / A.F. Smirnov [*i dr.*]; Podobshch. red. A.F. Smirnova. – M.: Vysshaya shkola, 1975. – 480s.

4. Feodosyev, V.I. Soprotivleniye materialov / V.I. Feodosyev. – M.: Nauka, 1986. – 560s.

5. Soprotivleniye materialov: laboratornyy praktikum / sost.: M.K. Balыkin [*idr.*]. – Minsk: BGPA, 1999 – 158s.

6. Spravochnik po soprotivleniyu materialov / Ye.F. Vinokurov [*idr.*]. – Minsk: Nauka i tekhnika, 1988. – 464s.

7. Rubashkin, A.P. Laboratornyye raboty po soprotivleniyu materialov: uchebnoye posobiye / A.P. Rubashkin. – Izd. 3-ye. – M.: Vysshaya shkola, 1971. – 240s.

8. Metallovedeniye I texnologiya metallov / podred. Yu.P. Solnseva. – M.: Metallurgiya, 1988. – 512s.

ILOVALAR

LABORATORIYA ISHLARI BO'YICHA HISOBOT YOZISHDAN NAMUNALAR

№8. LABORATORIYA ISHI BO'YICHA HISOBOT YOZISH.

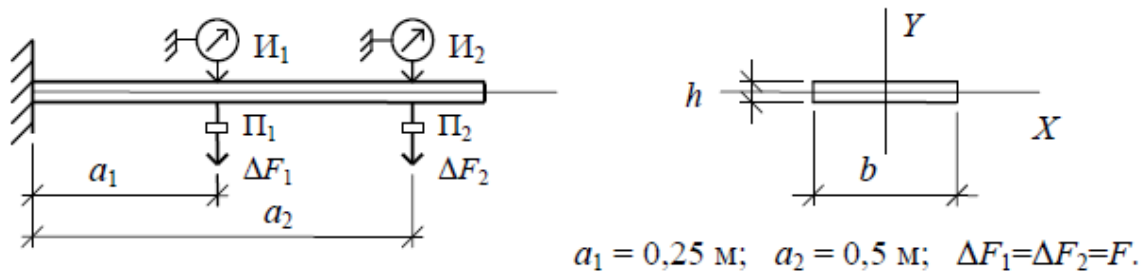
Ko'chishlarning o'zaro bog'liqligi haqidagi teorema.

Ishdan ko'zda tutilgan maqsad.

1. Elastik sistemalar modelida ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teorema prinsipini tajriba yo'li bilan tasdiqlash.
2. Tajribadag iko'chishlarni nazariya bilan taqqoslash.

KERAkli MA'LUMOTLAR.

Tajriba qurilmasining sxemasi.



Tatqiqot ob'yekti.

$h = 8 \text{ mm}; b = 50; E = 200 \text{ GPa}; I_x = 2133 \text{ mm}^4.$

O'lchov asboblari: bo'linish bahosi $\alpha = 0,01 \text{ mm}$ li bo'lgan tenzometr.

Ishlatilgan formulalar va ko'chishni hisoblash.

$$EI\Delta V_1 = EIV_0 + EI\theta_0 a_1 + \frac{M_A a_1^2}{2} + \frac{A_y a_1^3}{6} = -7,5 \frac{0,0625}{2} + 15 \frac{0,015625}{6} = -0,1953 \text{ H} \cdot \text{m}^3.$$

$$EI\Delta V_2 = EIV_0 + EI\theta_0 a_2 + \frac{M_A a_2^2}{2} + \frac{A_y a_2^3}{6} - \frac{\Delta F_m (a_2 - a_1)^3}{6} = -3,75 \cdot \frac{0,25}{2} + 15 \cdot \frac{0,125}{6} - 15 \cdot \frac{0,015625}{6} = -0,1953 \text{ H} \cdot \text{m}^3.$$

Tajriba ma'lumotlarining jadvali.

П ₁ даги юк		И ₂ бўйича ҳисобот	
F, Н	ΔF	n ₂	Δn ₂
20	15	45	46
35		91	
50		136	45
65		182	46
80		229	46
Ўртача қиймат	ΔF _{2m} =15	Δn _{2m} =45,8	

П ₂ даги юк		И ₁ бўйича ҳисобот	
F, Н	ΔF	n ₁	Δn ₁
20	15	46	45
35		91	
50		138	47
65		184	46
80		230	46
Ўртача қиймат	ΔF _{1m} =15	Δn _{1m} =46	

Tatqiqot natijalari.

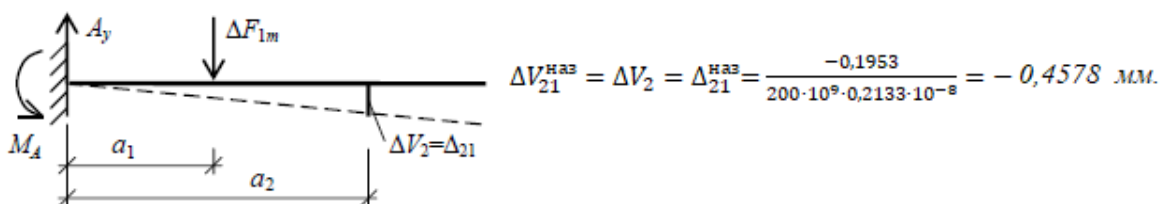
Kesim ko'chishining tajribadagi qiymati.

a).birinchi $\Delta_{12}^{taj} = V_{1(taj)} = \Delta n_{1m} \cdot \alpha_I = 46 \cdot 0,01 = 0,460 \text{ mm};$

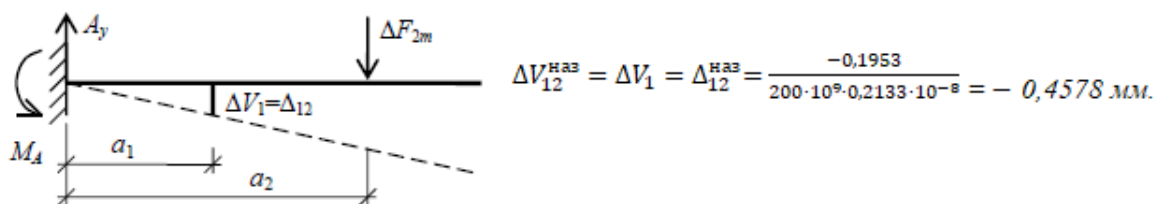
b).ikkinchi $\Delta_{21}^{taj} = V_{2(taj)} = \Delta n_{2m} \cdot \alpha_n = 45,8 \cdot 0,01 = 0,458 \text{ mm}.$

Nazariy hisobning natijalari.

*Birinchi yuklanish uchun hisoblash sxemasi
va (ikkinchi) 2 – kesimdagi ko'chishni aniqlash.*



*Ikkinchi yuklanish uchun hisoblash sxemasi
va (birinchi) 1- kesimdagi ko'chishni aniqlash.*



Qiymatlarni taqqoslash.

кўчиш	Δ ₁₂ , мм	Δ ₁₂ , мм	фарқи
тажрибавий	0.460	0.458	0.43
назарий	-0.458	-0.458	0
фарқи, %	0.43	0	—

Xulosalar. Ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teorema tatqiqot natijalari bo'yicha elastik sistema uchun haqqoniyligi o'rnatildi. Nazariy va tajribaviy tatqiqot natijalarini taqqoslash yupqa to'sinlar uchun deformasiyani nazariy hisoblashning haqqoniyligini tasdiqladi.

№ 9. LABORATORIYA ISHI UCHUN HISOBOT YOZISH

Statik aniqmas to'sinni tatqiqotlash.

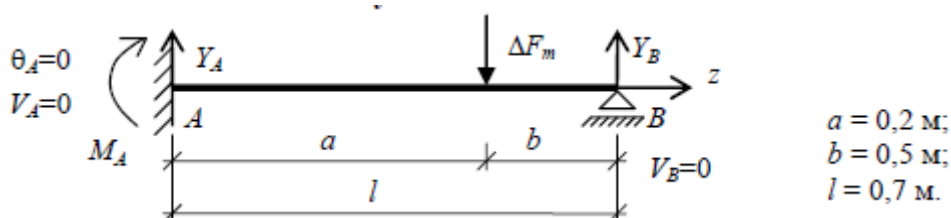
Ishdan ko'zda tutilgan maqsad.

Berilgan statik aniqmas to'sin uchun qistirib mahkamlangan tayanchdagi momentni tajriba usulida aniqlab va uning nazariy qiymati bilan solishtirish.

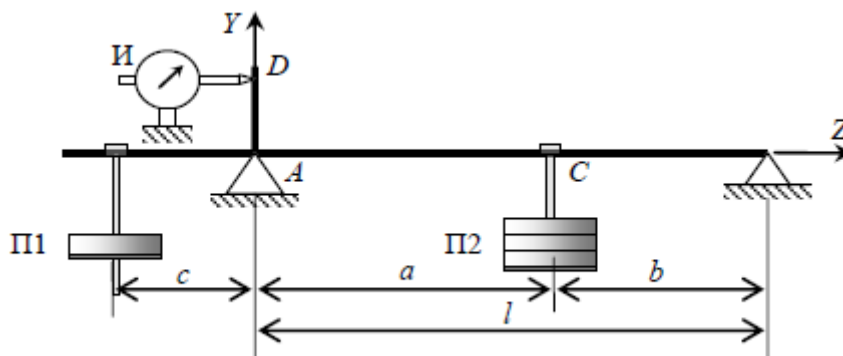
KERAKLI MA'LUMOTLAR.

Ishlatilgan formulalar: to'sin egilgan o'qining differensial tenglamasi.

Tatqiqot to'sinining hisoblash sxemasi

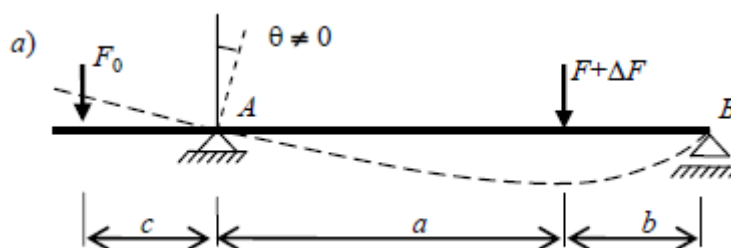


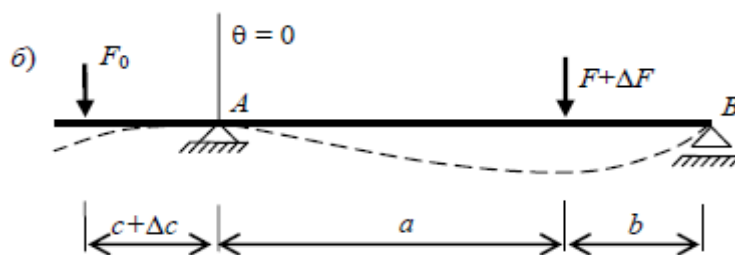
Tajriba to'sinining sxemasi.



O'lchov asboblari: to'sindagi millimetrli shkala bilan milli indikator tipi.

Tatqiqot sxemasi





Tajribadan olingan ma'lumotlar jadvali.

Юк, Н			Елка, см	
F	ΔF	F_0	c	Δc
15	10	20	9,8	6,2
25			16,0	
35			22,1	
45			28,3	
55			34,6	
Ўртача қиймат	$\Delta F_m=10$	20	$\Delta C_m=6,2$	

Tatqiqot natijalari.

Qistirib mahkamlangan joydagi eguvchi momentning tajribadan olingan qiymati.

$$M_A = F_0 \Delta C_m = 20 \cdot 0,062 = 1,24 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

NAZARIY HISOBLASH.

Statika tenglamalari.

$$\sum M_B = M_A + Y_A(a + b) - \Delta F b = 0; Y_A = \frac{\Delta F b - M_A}{a + b} = \frac{5 - M_A}{0,7}.$$

Ko'chish tenglamalari.

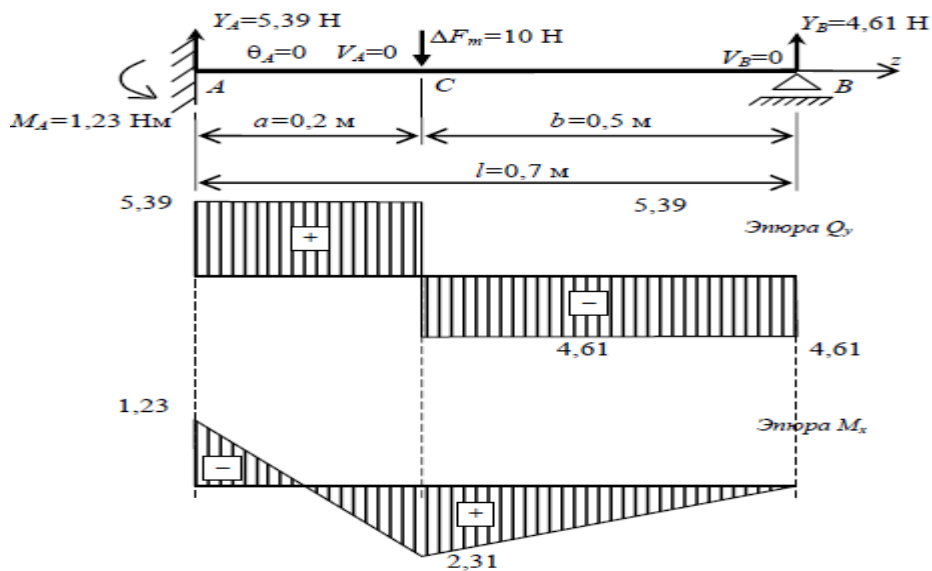
$$\begin{aligned}
 EI_x V_B &= EI_x V_B + EI \theta_0 (a + b) + \frac{M_A (a + b - 0)^2}{2} + \frac{Y_A (a + b - 0)^3}{6} - \\
 &\quad - \frac{\Delta F (a + b - a)^3}{6} = \frac{M_A (0,7)^2}{2} + \frac{5 - M_A}{0,7} \cdot \frac{(0,7)^3}{6} - \frac{10 \cdot 0,5^3}{6} = \\
 &= 0,245 \cdot M_A + 0,4083 - 0,0817 \cdot M_A - 0,2083 = 0.
 \end{aligned}$$

Qistirib mahkamlangandagi momentning qiymati va reaksiyasi.

$$M_A = -1,23 \text{ H} \cdot \text{m}; Y_A = (5 - 1,23)/0,7 = 5,39 \text{ H};$$

$$Y_B = \Delta F_m - Y_A = 10 - 5,39 = 4,61 \text{ H}.$$

Tatqiqotlanayotgan to'sindagi ichki kuchlar epyuralari.



Natijalarni taqqoslash.

$$\frac{1,24 - 1,23}{1,23} \cdot 100\% = 1,2 \%$$

XULOSALAR

Eguvchi momentning nazariy va tajribadan olingan qiymatlari mos keladi. Shunday qilib, yupqa to'sinni hisoblash nazariyasi tasdiqlandi.

№ 10. LABORATORIYA ISHI BO'YICHA HISOBOT

Qiyshiq egilishda kuchlanishni tatqiqotlash.

Ishdan ko'zda tutilgan maqsad.

Qiyshiq egilish nazariyasida qabul qilingan amaliy maqsadlar uchun hisoblash formulalarining qo'llanishini tekshirish.

KERAKLI MA'LUMOTLAR

Tatqiqotga qo'yilgan talablar: Yuklanish statik bo'lgan holda to'sin xavfli kesimidagi maksimal normal kuchlanish mutanosiblik chegarasidagi qiymatdan ortib ketmasligi shart.

Ishlatilgan formulalar.

$$\sigma = E\varepsilon \text{ (Guk qonuni); } \tan \beta = -\frac{M_y I_x}{M_x I_y}; \text{ (Neytral o'qning holati);}$$

$$\sigma = \frac{M_x}{I_x} y + \frac{M_y}{I_y} x; \text{ (Normal kuchlanish); } \varepsilon = 2\Delta n_m \alpha / K.$$

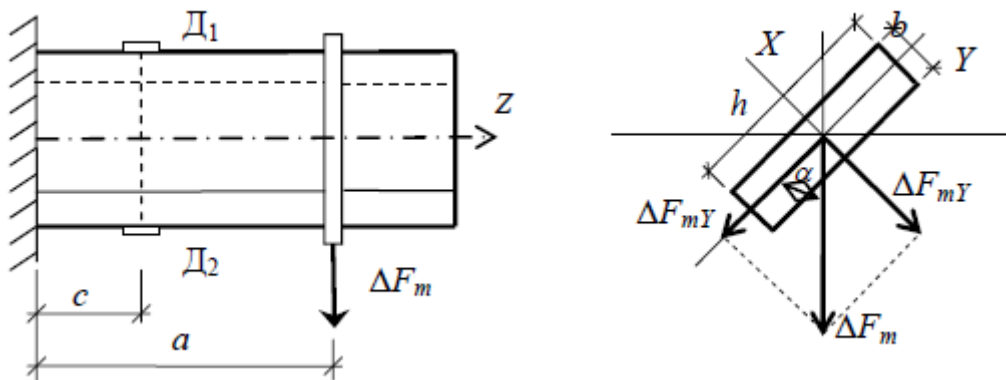
Stol ustidagiga o'xshash **tatqiqot qurilmasi**. Sterjenni tajribada yuklash 1 kg massali qadoq toshlarda bajariladi.

Tatqiqot o'byekti: To'g'riburchakli po'lat to'sin. To'sin materialining elastiklik moduli $Y_e = 210 \text{ GPa}$.

O'lcho va sboblari IDTS - 1. $\alpha = 1 \cdot 10^{-5}$; $K = 2,1$.

Tajriba to'sinining sxemasi.

$$h = 31,8 \text{ mm; } b = 7,0 \text{ mm.}$$



Tajribadan olingan ma'lumotlar.

Юк F, Н	Датчиклар	Д ₁	Д ₂
	Саноклар		
10		7	47
20		13	41
30		20	34
40		25	29
$\Delta F_m = 10$	Ортгирма	$\Delta n_{1m} = 6$	$\Delta n_{2m} = -6$

TAJRIBA NATIJALARI

Tatqiqot qilinayotgan to'sin nuqtasi tolalaridagi nisbiy deformatsiya.

$$\varepsilon_{(1)} = \frac{2\Delta n_{m1}\alpha}{K} = 2 \cdot 6 \cdot \frac{10^{-5}}{2,1} = 57,14 \cdot 10^{-6};$$

$$\varepsilon_{(2)} = \frac{2\Delta n_{m2}\alpha}{= 2} \cdot (-6) \cdot \frac{10^{-5}}{2,1} = -57,14 \cdot 10^{-6}.$$

Tatqiqot qilinayotgan to'sin nuqtalaridagi normal kuchlanish.

$$\sigma_{(1)} = E\varepsilon_{(1)} = 210 \cdot 10^9 \cdot 57,14 \cdot 10^{-6} = 11,999 \text{ MPa} \approx 12,0 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{(2)} = E\varepsilon_{(2)} = 210 \cdot 10^9 \cdot (57,14) \cdot 10^{-6} = -11,999 \text{ MPa} \approx -12,0 \text{ MPa}.$$

NAZARIY HISOBLASHLAR

Tashkil etuvchi yukning qiymati.

$$\Delta F_{ym} = \Delta F_m \cos 40^\circ = 7,66 \text{ H}; \Delta F_{xm} = \Delta F_m \sin 40^\circ = 6,43 \text{ H}.$$

To'sinning qaralayotgan kesimidagi eguvchi momentlar.

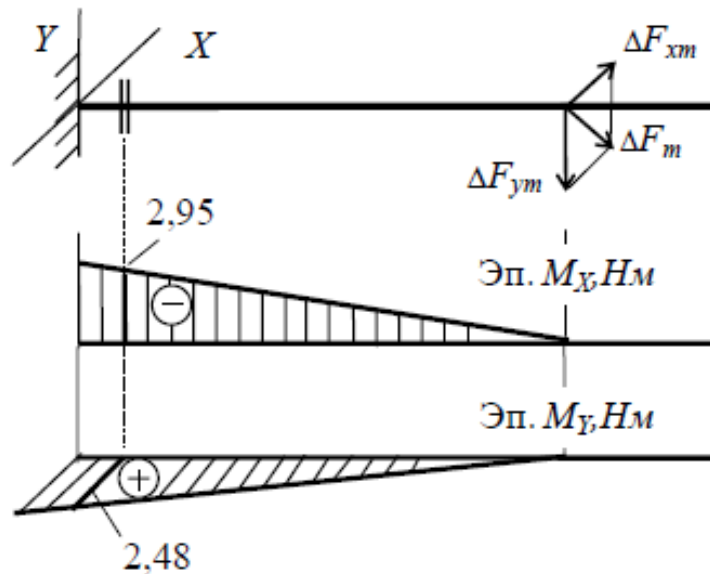
$$M_x = \Delta F_{ym}(a - c) = 7,66 \cdot 0,385 = 2,9494 \text{ H} \cdot \text{m};$$

$$M_y = \Delta F_{mx}(a - c) = 6,43 \cdot 0,385 = 2,476 \text{ H} \cdot \text{m}.$$

To'sin ko'ndalang kesimining inersiya momentlari.

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = 1,876 \text{ sm}^4; I_y = \frac{hb^3}{12} = 0,091 \text{ sm}^4.$$

Tajriba to'sinining sxemasi. Eguvchi momentlar epyurasi.



Tatqiqot qilinayotgan to'sin nuqtalaridagi normal kuchlanish.

$$\sigma_{(1)} = \frac{M_x}{I_x} \cdot \frac{h}{2} + \frac{M_y}{I_y} \cdot \frac{b}{2} = \frac{2,95 \cdot 10^3}{1,876 \cdot 10^{-8}} \cdot \frac{31,8 \cdot 10^{-3}}{2} + \frac{2,48 \cdot 10^3}{0,091 \cdot 10^{-8}} \cdot \frac{7 \cdot 10^{-3}}{2} = 12,0 \text{ MPa};$$

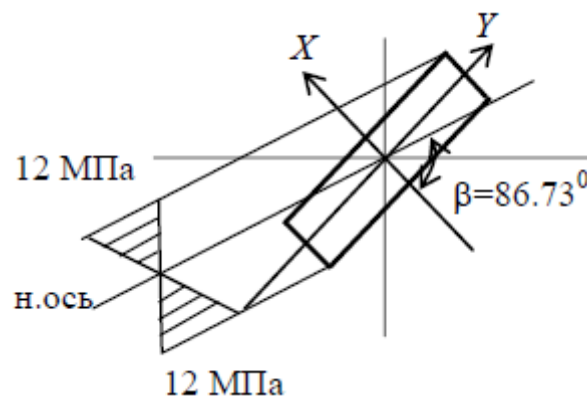
$$\sigma_2 = \frac{M_x}{I_x} \cdot \left(-\frac{h}{2}\right) + \frac{M_y}{I_y} \cdot \left(-\frac{b}{2}\right) = \frac{2,95 \cdot 10^3}{1,876 \cdot 10^{-8}} \cdot \frac{-31,8 \cdot 10^{-3}}{2} + \frac{2,48 \cdot 10^3}{0,091 \cdot 10^{-8}} \cdot \frac{-7 \cdot 10^{-3}}{2} = 12,0 \text{ MPa}.$$

Neytral o'qning holati.

$$\tan \beta = \frac{M_y I_x}{M_x I_y} = \frac{2,48 \cdot 10^3 \cdot 1,876 \cdot 10^{-8}}{2,95 \cdot 10^3 \cdot 0,091 \cdot 10^{-8}} = 17,31; \beta = 86,73^\circ.$$

Tatqiqot natijalarini taqqoslash.

Normal kuchlanish epyurasi.



Normal kuchlanishlar farqini hisoblash.

$$\frac{12,0-12,0}{12,00} \cdot 100\% = 0.$$

XULOSALAR

Tajribadagi va nazariy hisoblashlardagi topilgan normal kuchlanish qiymatlarining bir – biriga mos kelishi o‘rnatildi. O‘z navbatida qiyshiq egilishga to‘sinni nazariy hisoblash tasdiqlandi.

№ 11. LABORATORIYA ISHIDAN YOZILADIGAN HISOBOT

Qiyshiq egilishda deformatsiyani tatqiqotlash

Ishdan ko'zda tutilgan maqsad.

1. Qiyshiq egilishda nazariy usulda aniqlangan ko'chishlarni amaliy maqsadda qabul qilish uchun qo'llashda tekshirish.
2. Qiyshiq egilishda Guk qonunini tasdiqlash.
3. Kuch tekisligi holatini va neytral chiziq yo'nalishiga bog'liqligi bo'yicha deformatsiya tekisligini tekshirish.

KERAKLI MA'LUMOTLAR

Tatqiqotga qo'yilgan talablar: statik yukni pag'ona – pag'ona yuklab tajriba to'sin deformatsiyasini elastik holatda o'tkazildi.

Ishlatilgan formulalar.

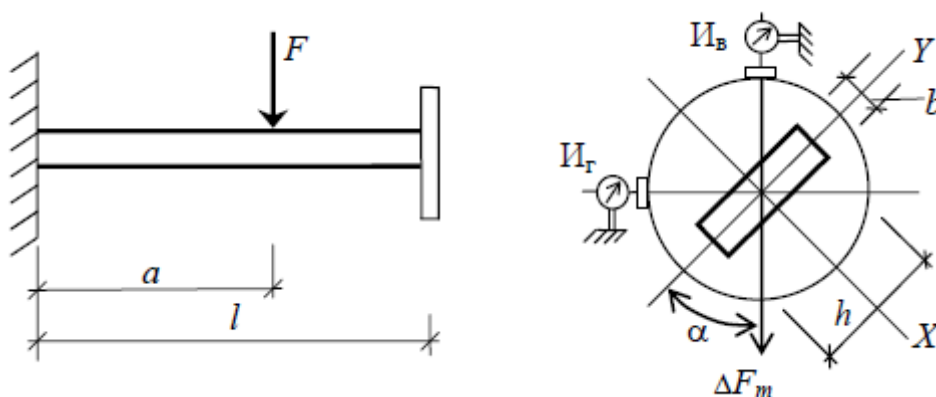
$$f_B = \Delta n_{mB} \alpha_n f_G = \Delta f_{mG} \alpha_n \text{ va Vereshchagin usuli.}$$

Tajriba to'sinini qadoq toshlar bilan yuklangan stol **tipidagi tajriba qurilmasi**.

Tatqiqot obyekti: kesimi to'g'ri burchakli po'lat konsol to'sin, $Y_e = 210 \text{ GPa}$.

O'lchov asboblari: $\alpha = 40^\circ$ milliindikator.

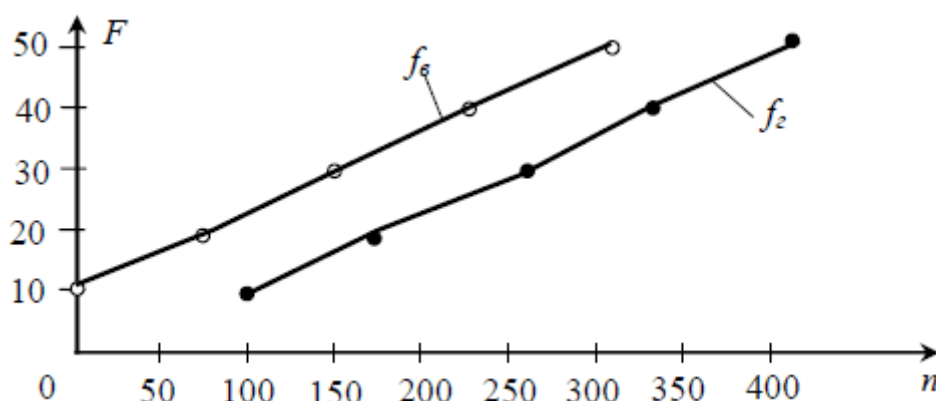
Tajriba qurilmasining sxemasi. $l = 0,513 \text{ m}$; $a = 0,454 \text{ m}$.



Tajriba ma'lumotlari jadvali.

Юк, Н		Индикатор И _в		Индикатор И _г	
F	ΔF	n	Δn	n	Δn
10		0		100	
	10		78		77
20		78		177	
	10		74		82
30		152		259	
	10		82		82
40		234		341	
	10		76		83
50		310		424	
Ўртача қиймат	$\Delta F_m=10$	$\Delta n_{\text{см}}=77.5$		$\Delta n_{\text{зм}}=81.0$	

Ko'chish grafigi



TATQIQOT NATIJALARI

Tajriba kesimining ko'chishi.

vertikal $f_v = \Delta n_{mB} \alpha_I = 77,5 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$;

gorizontal $f_G = \Delta n_{mG} \alpha_I = 81,0 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$.

To'liq ko'chish $f_{\text{tot}} = \sqrt{f_B^2 + f_G^2} = \sqrt{(77,5)^2 + (81,0 \cdot 10^{-5})^2} = 1,12$
mm.

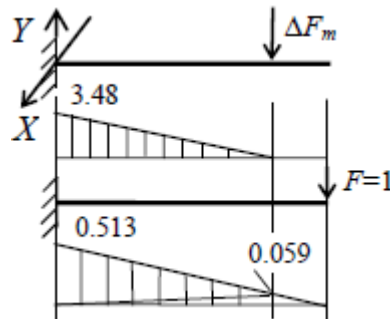
Vertikal tajriba ma'lumotlari bo'yicha to'liq ko'chishning yo'nalishi.

$$\tan \gamma^{\text{taj}} = \frac{81,0}{77,5} = 1,05; \gamma^{\text{taj}} = 46^\circ.$$

NAZARIY HISOBLASHLAR

Kesim bosh neytral o'qlar yo'nalishidagi hisoblash kesimining ko'chishi:

Y o'qi yo'nalishi bo'yicha



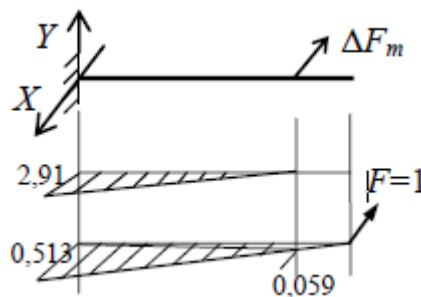
$$M_X = \Delta F_M \cos \alpha \cdot a = 10 \cdot 0,776 \cdot 0,454 = 3,48 \text{ Hm};$$

$$M_X = 1 \cdot l = 0,513 = 0,513 \text{ Hm};$$

$$I_X = \frac{7 \cdot 31,8^3}{12} = 18759 \text{ mm}^4;$$

$$V_y = \frac{\frac{1}{2} \cdot 0,454 \cdot 3,48 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 0,513 + \frac{1}{3} \cdot 0,059 \right)}{210 \cdot 10^9 \cdot 18,76 \cdot 10^{-9}} = 0,073 \text{ mm};$$

X o'qi yo'nalishi bo'yicha.



$$M_y = \Delta F_M \sin \alpha \cdot a = 10 \cdot 0,64 \cdot 0,454 = 2,91 \text{ H} \cdot \text{m};$$

$$\overline{M_X} = 1 \cdot l = 1 \cdot 0,513 = 0,513 \text{ Nm};$$

$$I_y = \frac{7^3 \cdot 31,8}{12} = 909 \text{ mm}^4;$$

$$V_X = \frac{\frac{1}{2} \cdot 2,91 \cdot 0,454 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 0,513 + \frac{1}{3} \cdot 0,059 \right)}{210 \cdot 10^9 \cdot 0,909 \cdot 10^{-9}} = 1,252 \text{ mm}.$$

To'liq ko'chish.

$$V_{\text{tot}} = \sqrt{V_X^2 + V_y^2} = \sqrt{(1,252)^2 + (0,073)^2} = 1,25 \text{ mm}.$$

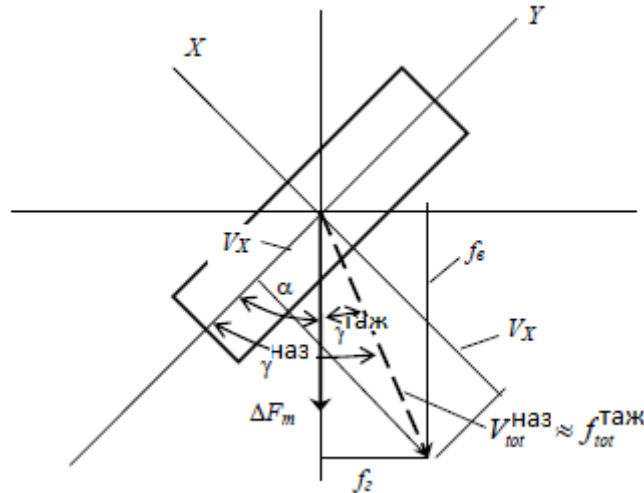
To'liq ko'chishning yo'nalishi.

$$\tan \gamma^{\text{naz}} = \frac{I_X}{I_y} \cdot \tan \alpha = 17,32; \gamma^{\text{naz}} = 87^\circ.$$

γ^{taj} burchakning qiymati. $\gamma^{\text{taj}} = \gamma^{\text{naz}} - \alpha = 87 - 40 = 47^\circ$

NATIJALARNI TAQQOSLASH

Ko'chishlar sxemasi.



To'liq ko'chishlarning farqi.

$$\frac{f^{\text{naz}} - f^{\text{taj}}}{f^{\text{taj}}} \cdot 100\% = \frac{1,25 - 1,12}{1,25} 10\%.$$

γ burchakning farqi.

$$\frac{\gamma^{\text{naz}} - \gamma^{\text{taj}}}{\gamma^{\text{taj}}} \cdot 100\% = \frac{47 - 46}{47} \cdot 100\% = 2\%.$$

XULOSALAR

Qiyshiq egilishdagi qabul qilingan ko'chishlarni aniqlash usuli tasdiqlandi. Qiyshiq egilishdagi Guk qonunining ta'siri haqqoniydir.

№ 12. LABORATORIYA ISHI BO'YICHA HISOBOT

Markaziy bo'lmagan cho'zilishni tatqiqotlash.

Ishdan ko'zda tutilgan maqsad.

1. Tatqiqot sterjenining nuqtalaridagi normal kuchlanishni tajribada aniqlash va ko'ndalang kesim yuzasi bo'yicha ularning o'rnatilish xarakteri.

2. Bu nuqtalardagi normal kuchlanishlarni nazariy yo'l bilan hisoblash va ularni eksperimentdan olingan ma'lumotlar bilan taqqoslash.

KERAKLI MA'LUMOTLAR

Tatqiqot talablari: kuchlanish mutanosiblik chegarasidan ortib ketmaguncha statik yuk bilan yuklanadi.

Ishlatilgan formulalar.

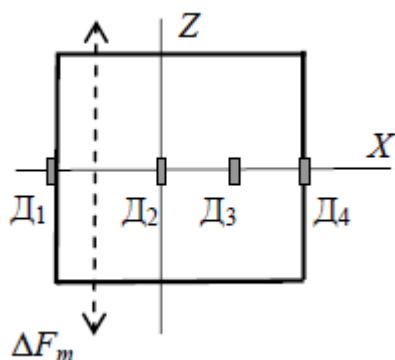
$$x_o = -\frac{I_y}{A x_F}; y_o = -\frac{I_x}{A y_F}; \sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{I_x} y + \frac{M_y}{I_y} x.$$

Tatqiqot mashinasi: maksimal zo'riqish 500kN (50 t) bo'lgan R – 50 tipidagi gidravlik press.

Tatqiq otobyekti: ko'ndalang kesimi to'g'ri burchakli bo'lgan qisqa po'lat sterjen, $E = 210 \text{ GPa}$.

O'lchov asbob va uskunalari: shtangensirkul, lentava IDTS – 1, $\alpha = 1 \cdot 10^{-5}$, $K = 2$.

Tatqiqot sterjen va datchiklarning joylanish sxemasi.

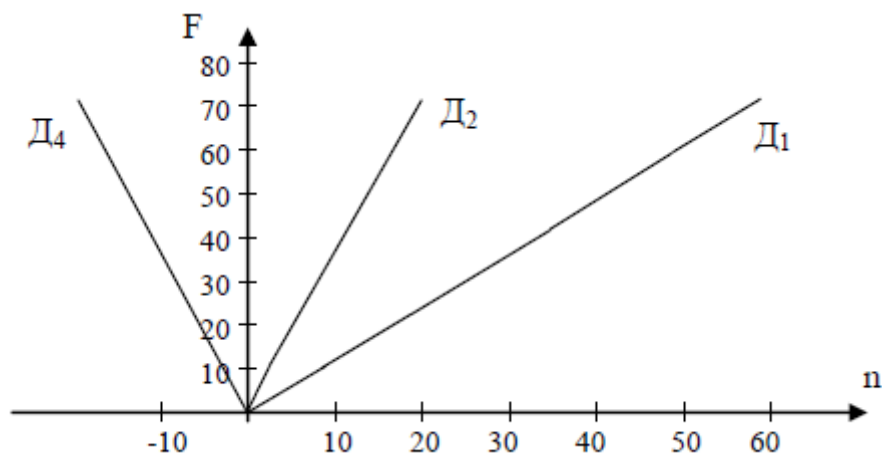


$$\begin{aligned} h &= 1,5 \text{ cm}; & b &= 12 \text{ cm}; \\ c &= 3 \text{ cm}; & x_F &= 4 \text{ cm}; & y_F &= 0; \\ A &= 18 \text{ cm}^2 & J_x &= hb^3/12 = 216 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Tajriba ma'lumotlari jadvali.

ЮК, кН		Д ₁		Д ₂		Д ₃		Д ₄	
F	ΔF	n ₁	Δn ₁	n ₂	Δn ₂	n ₃	Δn ₃	n ₄	Δn ₄
0		9623		9831		9910		9978	
11	11	9632	9	9835	4	9911	1	9975	-3
23	12	9641	9	9838	3	9910	-1	9971	-4
34	11	9651	10	9842	4	9910	0	9968	-3
47	13	9662	11	9846	4	9908	-2	9966	-2
57	10	9671	9	9850	4	9910	+2	9963	-3
68	11	9681	10	9853	3	9910	0	9959	-4
ΔF _m =11,3		Δn _{m1} =9,7		Δn _{m2} =3,0		Δn _{m3} =0		Δn _{m4} =-3,2	

Deformasiya grafigi.



TATQIQOT NATIJALARI

Tajriba nuqtalarining tolalaridagi nisbiy deformasiyasi.

$$\varepsilon_1 = 2 \cdot \Delta n_{m1} \cdot \alpha / K = 2 \cdot 9,7 \cdot 10^{-5} / 2 = 9,7 \cdot 10^{-5};$$

$$\varepsilon_2 = 2 \cdot n_2 \cdot \alpha / K = 2 \cdot 4,3 \cdot 10^{-5} / 2 = 4,3 \cdot 10^{-5};$$

$$\varepsilon_3 = 2 \cdot n_3 \cdot \alpha / K = 2 \cdot 0 \cdot 10^{-5} / 2 = 0;$$

$$\varepsilon_4 = 2 \cdot n_4 \cdot \alpha / K = 2 \cdot (-3,2) \cdot 10^{-5} / 2 = -3,2 \cdot 10^{-5}.$$

Tajriba nuqtalarining normal kuchlanishi.

$$\sigma_1 = E \cdot \varepsilon_1 = 2 \cdot 10^{11} \cdot 9,7 \cdot 10^{-5} = 19,4 \text{ МПа};$$

$$\sigma_2 = E \cdot \varepsilon_2 = 2 \cdot 10^{11} \cdot 4,3 \cdot 10^{-5} = 8,6 \text{ МПа};$$

$$\sigma_3 = E \cdot \varepsilon_3 = 2 \cdot 10^{11} \cdot 0 = 0;$$

$$\sigma_4 = E \cdot \varepsilon_4 = 2 \cdot 10^{11} \cdot (-3,2) \cdot 10^{-5} = -6,4 \text{ МПа}.$$

NAZARIY HISOBLAR

Tajriba kesimidagi ichki kuchlar.

$$N = \Delta F_m = 11,3 \text{ кН};$$

$$M_X = 0; \quad M_y = N \cdot x_F = 11,3 \cdot (-0,04) = -0,45 \text{ кНм}$$

Normal kuchlanishlar.

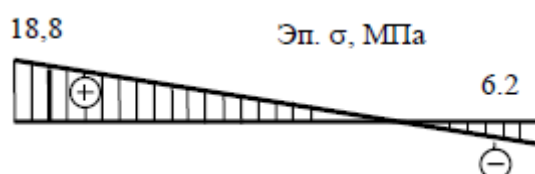
$$\sigma_1 = \frac{11,3 \cdot 10^3}{18 \cdot 10^{-4}} + \frac{-0,45 \cdot 10^3}{216 \cdot 10^{-8}} \cdot (-6 \cdot 10^{-2}) = 18,8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{11,3 \cdot 10^3}{18 \cdot 10^{-4}} = 6,3 \text{ МПа};$$

$$\sigma_3 = \frac{11,3 \cdot 10^3}{18 \cdot 10^{-4}} + \frac{-0,45 \cdot 10^3}{216 \cdot 10^{-8}} \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 0,0;$$

$$\sigma_4 = \frac{11,3 \cdot 10^3}{18 \cdot 10^{-4}} + \frac{-0,45 \cdot 10^3}{216 \cdot 10^{-8}} \cdot 6 \cdot 10^{-2} = -6,2 \text{ МПа}.$$

Normal kuchlanish epyurasi.



Neytral o'qning koordinatalari.

$$x_0 = -\frac{J_y}{A \cdot x_F} = -\frac{216 \cdot 10^{-8}}{18 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-2}} = -3 \cdot 10^{-2} \text{ м} = -30 \text{ мм}.$$

$$y_0 = -\frac{J_x}{A \cdot y_F} = -\frac{J_x}{A \cdot 0} = \infty.$$

Tajriba natijalarini taqqoslash.

кучланиш МПа	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
тажрибавий	19,4	6,0	0	6,4
назарий	18,8	6,3	0	6,2
фарқи, %	3,2	5,0	0	3,2

XULOSALAR

Normal kuchlanishning tajribadan va nazariy usulda topilgan qiymatlari bir – biriga yaqinligi tasdiqlandi. O'z navbatida, markaziy bo'lmagan uzun sterjen cho'zilishining nazariy hisobi haqqoniydir.

№13. LABORATORIYA ISHI BO'YICHA HISOBOT YOZISH

Bo'ylama siqilgan sterjenning turg'unligini tatqiqotlash.

Ishdan ko'zda tutilgan maqsad.

1. Siqilgan sterjen turg'unligining yo'qolish holatini o'rganish.
2. Tajriba va nazariy usulda kritik kuch kattaligini aniqlash va ularni taqqoslash.

KERAKLI MA'LUMOTLAR

Tatqiqot talablari: sterjenni pag'ona – pag'ona yuk bilan yuklaymiz kuchlanishning qiymati mutanosiblik chegarasidan ortib ketmaguncha.

Foydalanilgan formulalar.

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EJ_{min}}{(\mu l)^2};$$

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{min}};$$

$$i_{min} = \sqrt{\frac{J_{min}}{A}};$$

$$\lambda_U = \sqrt{\frac{\pi^2 EJ_{min}}{\sigma_{pr}}};$$

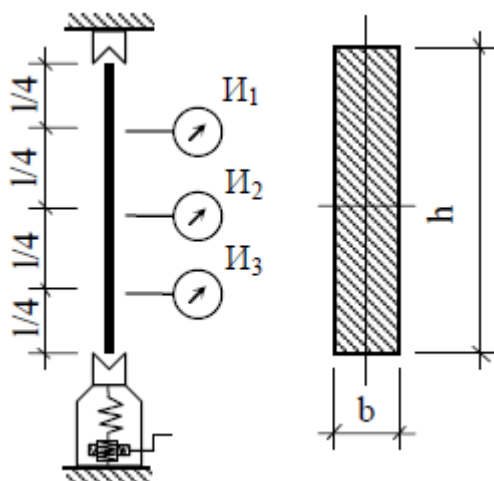
$$\sigma_{cr} = \frac{F_{cr}}{A};$$

$$F = \alpha \cdot n.$$

Tatqiqot qurilmasi: kesimi to'g'ri burchakli to'g'ri chiziqli po'lat sterjen.

O'lchov asboblari: milliindikator, $\alpha_I = 1 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$, $\alpha = 33 \text{ H/mm}$ tatqiqot qurilmasi dinamometr, shtangentsirkul, chizg'ich.

Tajriba sterjenining sxemasi.



$$l = 650 \text{ mm}; \quad b = 3,0 \text{ mm};$$

$$h = 41 \text{ mm}; \quad \mu = 1;$$

$$A = 123 \text{ mm}^2;$$

$$J_{min} = \frac{b^3 h}{12} = \frac{3^3 \cdot 41}{12} = 92,25 \text{ MM}^4; \quad i_{min} = \sqrt{\frac{J_{min}}{A}} = \sqrt{\frac{92,25}{123}} = 0,87 \text{ MM}.$$

Tajriba ma'lumotlari.

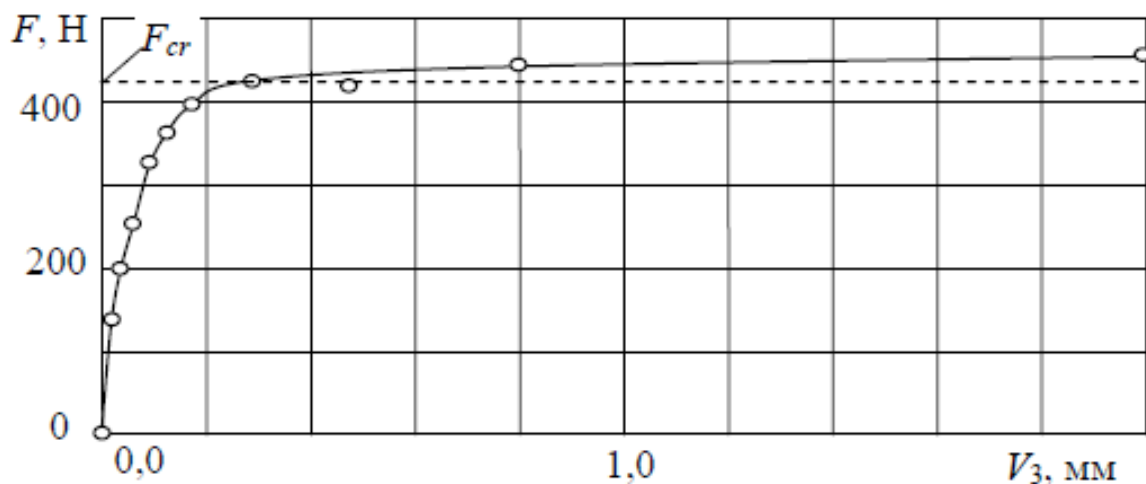
Yukning qiymati va sterjen hisoblash nuqtalarining siljish qiymatini quyidagi formulalar bo'yicha hisoblaymiz.

$$F_k = \alpha n_k; \quad V_k = \alpha_u n_k.$$

Tajriba ma'lumotlari jadvali.

ПОПОНА №	Санок n , мм	Юк F , Н	И ₁		И ₂		И ₃	
			n_1	V_1 , мм	n_2	V_2 , мм	n_3	V_3 , мм
1.	0,0	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00
2.	4,0	132	1	0,01	2	0,02	1	0,01
3.	6,0	198	3	0,03	4	0,04	3	0,03
4.	8,0	264	4	0,04	6	0,06	4	0,04
5.	10,0	330	6	0,06	8	0,08	6	0,06
6.	11,0	363	8	0,08	12	0,12	8	0,08
7.	12,0	396	12	0,12	17	0,17	12	0,12
8.	13,0	429	20	0,20	29	0,29	20	0,20
9.	13,5	446	56	0,56	80	0,80	56	0,56
10.	14,0	462	138	1,38	200	2,00	138	1,38

Deformasiya grafigi.



13.3 – rasm. Siquvchi kuch ta'sirida nuning egrilanishining sterjen og'ishiga bog'liqlik grafigi.

TATQIQOT NATIJALARI

Kritik kuchning tajribadan olingan qiymati $F_{cr} = 429 \text{ H}$.

Kritik kuchning ta'sirida tajribada sterjen o'qining og'ishi.

$$V_1 = 0,2 \text{ mm}; \quad V_2 = 0,29 \text{ mm}; \quad V_3 = 0,2 \text{ mm}$$

NAZARIY HISOBLASH

Egiluvchanlik chegarasi.

$$\lambda_v = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{pr}}} = \sqrt{\frac{3,14^2 \cdot 200 \cdot 10^9}{200 \cdot 10^6}} = 99,3$$

Sterjenning tajribadagi egiluvchanligi.

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{min}} = \frac{1 \cdot 650}{0,866} = 751$$

Egiluvchanlikni solishtirish.

$$\lambda = 751 > \lambda_v = 99,3.$$

Eyler formulasi bo'yicha kritik kuch.

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EJ_{min}}{(\mu l)^2} = \frac{3,14^2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 92,25 \cdot 10^{-12}}{(1 \cdot 0,65)^2} = 431 \text{ H}.$$

Kritik kuchlanish.

$$\sigma_{cr} = \frac{F_{cr}}{A} = \frac{431}{123 \cdot 10^{-6}} = 3,50 \text{ MPa}.$$

σ_{cr} va σ_{pr} larni solishtirish: $\sigma_{cr} = 3,50 \text{ MPa} < \sigma_{pr} 200 \text{ MPa}$

B parametrni $B = 0,29 \text{ mm}$ deb qabul qilamiz. Z o'qining og'ishini sterjen o'qining to'rtidan biriga teng deb qabul qilamiz.

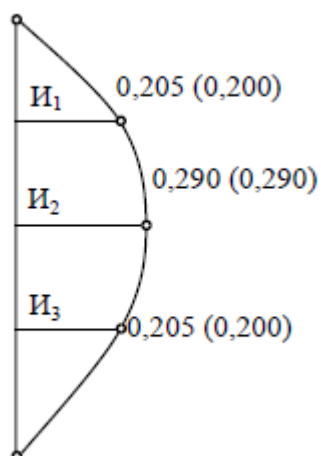
$$V_1 = V_3 = B \sin\left(\frac{\pi z}{l}\right) = 0,29 \cdot \sin\left(\frac{3,14 \cdot 162}{650}\right) = 0,205 \text{ mm}.$$

Natijalarni taqqoslash.

Kritik kuchlar tajriba bo'yicha $F_{cr} = 429 \text{ H}$;

Eyler bo'yicha sterjen o'qining egilishi $F_{cr} = 431 \text{ H}$.

Farqi $\frac{431-429}{431} \cdot 100\% \approx 0,5 \%$



XULOSALAR

1. Tajriba o'tkazish natijalari bo'yicha va nazariy tatqiqotlar o'rnatildi.
2. Siqilgan sterjenning yuqori egiluvchanligi uchun Eyler formulasi tasdiqlandi.
3. Sterjen sinusoidal tebranishining qo'yilishi turg'unligining yo'qolishi tasdiqlandi.

MUNDARIJA

KIRISH	3
TEXNIKA XAVFSIZLIGI	4
LABORATORIYA MASHG‘ULOTLARINI O‘TKAZISH TARTIBI ...	5
Nº 8. Laboratoriya ishi. KO‘CHISHLARNI O‘ZARO BOG‘LIQLIGI HAQIDAGI TEOREMANI TATQIQOTLASH	7
Nº 9. Laboratoriya ishi. STATIK ANIQMAS TO‘SINNI TATQIQOTLASH	14
Nº 10. Laboratoriya ishi. QIYSHIQ EGILISH JARAYONIDAGI KUCHLANISHNI TATQIQOTLASH	22
Nº 11. Laboratoriya ishi. QIYSHIQ EGILISH JARAYONIDAGI DEFORMASIYANI TATQIQOTLASH	30
Nº 12. Laboratoriya ishi. MARKAZIY BO‘LMAGAN CHO‘ZILISHNING TATQIQOTI	40
13. Laboratoriya ishi. SIQILGAN STERJENNING TURG‘UNLIGINI TATQIQOTLASH.....	48
ADABIYOTLAR	59
ILOVALAR	60

**O.L.VERBITSKAYA
S.I.ZINEVICH
L.I.SHEVCHUK**

MATERIALLAR QARSHILIGI

Irisov Rahmon Avvalbekovich tarjimasi

Muharrir: Quldosh MELIYEV
Musahhih: Hafiza ASLANOVA
Sahifalovchi: Jamshid SHODMONOV

© “Fan bulog‘i” nashriyoti, Samarqand – 2025 yil.



Nashriyot litsenziyasi:
№ 4341-5160-642c-944b-ab74-5062-3969
Bosidhga ruxsat etildi: 18.12.2025 yil.
Ofset bosma qog‘oz. Qog‘oz bichimi 60x84
“Cambria” garnituras. Ofset bosma usuli.
Hisob-nashriyot t.: 5,06. Shartli b.t.: 2,09
Adadi: 20 nusxa. Buyurtma №228.

“FAN BULOG‘I” nashriyoti bosmaxonasida chop etildi.
Samarqand sh., Temur Malik ko‘chasi, 19a-uy.
Telefon: +998 93 999 52 72

