

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH INSTITUTI**

"MATERIALLAR QARSHILIGI"
fani bo'yicha

O'QUV USLUBIY MAJMUA

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH INSTITUTI**

Ro'yxatga olindi
№ _____
2022 y. " ____ " _____

"Tasdiqlayman"
O'quv ishlari bo'yicha prorektor
" ____ " _____ 2022 y

"MATERIALLAR QARSHILIGI"
fanidan

O'QUV USLUBIY MAJMUA

Namangan 2022

Mazkur o'quv-uslubiy majmua Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 18.08.2021 yildagi №5D-5340200-2.03-sonli buyrugi bilan tasdiqlangan "Materiallar qarshiligi" fanining o'quv dasturi asosida tayyorlandi.

Tuzuvchi: NamMQI dots.J.Daminov

Taqrizchi: A. F. Xakimov - NamMPI "Materiallar qarshiligi va mexanika"
kafedrasi dotsenti t.f.n.

O'quv -uslubiy majmua NamMQI kengashining 2022 yil _____dagi ____-sonli qarori bilan tasdiqqa tavsiya qilingan.

№	Tarkib mazmuni	bet
	So`z boshi	5
I	Sillabus	6
II.1	Namunaviy va ishchi o`quv dastur	10
II.2	Modulni o`qitishda foydalaniladigan inter faol ta`lim metodlari	24
III.	Ma`ruza materiallari	
1.	Kirish. Fanning maqsadi va vazifalari. Asosiy gipoteza va prinsiplar. Jism va kuchlarning tasnifi.	32
2.	Tashqi kuchlar va ularning tasnifi.	35
3.	Cho`zilish va siqilish. To`g`ri sterjenning cho`zilishi-siqilishi.	41
4.	Statik noaniq masalalar va ularni echish.	47
5.	Kuchlanish holatlari turlari. Kuchlanish va deformatsiyalanish holatlari nazariyasi.	53
6.	Tekis kuchlanish holatida ekstremal urinma kuchlanishlarni hisoblash. Mor doirasi.	55
7.	Tekis kesim yuzalarining geometrik xarakteristikalar.	66
8.	Sof siljish. Buralish. To`g`ri brusning buralishi.	74
9.	Tekis egilish. Normal kuchlanishni hisoblash. Mustahkamlik shartlari.	83
10.	Balka egilgan o`qining differensial va universal tenglamalari	91
11.	Kuchlanishlarni hisoblashning energetik usullari	95
12.	Statik noaniq sistemalarni kuch usulida hisoblash.	121
13.	Siqilgan sterjenlarning ustivorligi. Kritik kuchni aniqlash. Eyler formulasidan foydalanish chegarasi.	134
14.	Yasinskiy formulasi. Uchtivorlikka hisoblashning asta-sekin yaqinlashish usuli	136
15.	Qiya egilish. Markaziy bo`lmagan cho`zilish yoki siqilish.	140
16.	Mustahkamlik nazariyalari.	146
17.	Dinamik kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash.	153
18.	Sikli o`zgaruvchan kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash.	160
V.	Keyslar banki	167
VI.	Mustaqil ta'lim mavzulari	173
VII.	Glossariy	175
VIII.	Adabiyotlar ro'yxati	184

SO'Z BOSHI

Majmuada materiallarning cho'zilish-siqilish, siljish, buralish, egilish va murakkab qarshilikka duch keluvchi konstruksiya qismlarida paydo bo'luvchi zo'riqish – ichki kuch, kuchlanish, ko'chish va deformatsiyalarni aniqlashga oid nazariy-amaliy hamda asosiy mexanik xossalarini tajribaviy o'rganishga doir ma'lumotlar tizimli bayon etilgan. SHuningdek, siqilgan sterjenlarning ustuvorligi, zarbali va davriy o'zgaruvchan yuklarda mustahkamlik, bruslarning elastiklik chegarasidan keyin deformatsiylanishini o'rganishga oid materiallar ham yoritilgan.

Fan va texnikaning yangi yutuqlarini muhandis-quruvchilarga yetkazishda, ilmiy-texnika taraqqiyotini jadallashtirishda «Materiallar qarshiligi» fanining ahamiyati beqiyosdir. Ilmiy texnikaviy taraqqiyot vazifalari - Respublikada qurilish, mashinasozlik sanoatlarining rivojlanishida «Nazariy mexanika», «Materiallar qarshiligi», «Qurilish mexanikasi» fanlari yetakchi o'rinlarda turadi.

Zamonaviy texnologiya, fan va texnikaning yangi yutuqlarini muhandis-quruvchilarga yetkazishda, ilmiy texnika taraqqiyotini jadallashtirishda « » fanining boshqa umummuhandislik va tabiiy fanlar qatorida ahamiyati katta.

Materiallar qarshiligi fizika-matematika fanlari singari umum ilmiy fundamental va amaliy fanlarning biri sifatida o'rganiladi. Oliy matematika, fizika, materiallar qarshiligi, qurilish mexanikasi, gidravlika, mashina va mexanizmlar nazariyasi, elastik va plastik jismlar nazariyasi va boshqa umummuhandislik fanlari, shuningdek, ko'p qavatli baland imoratlar, ko'priklar, yer osti inshootlari, gidrotexnik inshootlar va shunga o'xshash ob'ektlarni loyihalash, qurish hamda ulardan foydalanishni o'rgatuvchi maxsus muhandislik fanlari «Materiallar qarshiligi»ning qonun qoidalarini va prinsiplarini o'rgatishdan iborat.

Bo'lajak muhandis va muhandis-quruvchining amaliy mexanikani o'rganishi, uni kelgusi ishlab chiqarish va qurilish faoliyatiga, ilmiy-texnikaviy taraqqiyot jarayonida uchraydigan turlicha masalalar va yangiliklarni mustaqil ravishda hal qilishi uchun asosiy omillardan biri bo'lishi kerak. Shu bilan birga nazariy mexanikani o'rganish bo'lajak muhandis-quruvchining dunyoqarashini, uning umumiy madaniyatini, fikrlash qobiliyatini o'stirishdan iborat.

Materiallar qarshiligi o'rganish jarayonida talaba mexanikaning asosiy tushunchalari va qonunlari hamda shu qonunlardan kelib chiqadigan moddiy nuqta, qattiq jism, mexanik sistemaning muvozanati va harakatini aniqlash usullarini bilishi, olgan bilimini materiallar qarshiligining konkret masalalarini hal qilishga, shuningdek materiallar qarshiligining muhandislik va maxsus fanlarni o'rganishi uchun bo'lgan qonun-qoidalarini tadbqiq etishi zarur.

Hozirgi kunda hisoblash texnikasi, yadro energetikasi, kosmonavtika va elektronikaning rivojlanishi natijasida mexanikadan turlicha fizik tabiatga xos: elektromagnit, issiqlik, yorug'lik va ximiyaviy xususiyatlariga ega bo'lgan kuchlar ta'siridagi sistemalarning harakatini o'rganishga oid masalalar qo'yilmoqda. Texnikaning barcha soxalarida ayniqsa, mashinasozlik, asbobsozlik, qurilish, avtomatika, kibernetika va kosmonavtikaning rivojlanishida nazariy mexanika alohida o'rin egallaydi.

**«MATERIALLAR QARSHILIGI» fanining
2022/2023 o'quv yili uchun mo'ljallangan
SILLABUSI**

Fanning qisqacha tavsifi						
OTMning nomi va joylashgan manzili:	Namangan muhandislik-qurilish instituti			I. Karimov ko'chasi ,12-uy		
Kafedra:	Materiallar qarshiligi va mexanika			“Qurilish” fakulteti tarkibida		
Ta'lim sohasi va yo'nalishi:	310000 - Muhandislik ishi;		320000 – Ishlab chiqarish texnologiyasi;			
	5320300 – Texnologik mashinalar va jihozlar;					
Fanni (kursni) olib boradigan o'qituvchi to'g'risida ma'lumot:	Dotsent Daminov J.A.		e-mail:		ajdaminov1959@gmail.com	
Dars vaqti va joyi:	1-bino 107-auditoriya		Kursning davomiyligi:		04.09.2022-1.02.2023	
Individual grafik asosida ishlash vaqti:	dushanba, payshanba va shanba kunlari 13.00 dan 16.00 gacha					
Fanga ajratilgan soatlar	Auditoriya soatlari				Mustaqil ta'lim:	65
	Ma'ruza: III-semestr	30 30	Amaliy mashg'ulot	30 30		
Fanning boshqa fanlar bilan bog'liqligi (prorekvizitlari):	Oliy matematika, fizika, materiallar qarshiligi, qurilish mexanikasi, mashina va mexanizmlar nazariyasi, mashina detallari, mashinasozlik texnologiyasi asoslari, gidravlika asoslari					
Fanning boshqa fanlar bilan bog'liqligi (postrekvizitlari):	Pedagogik mahorat, pedagogik texnologiyalar, yangi pedagogik texnologiyalar					
Fanning mazmuni						
Fanning dolzarbligi va qisqacha mazmuni:	Fanni o'qitishdan maqsad – talabalarni mantiqiy fikrlashini mukammallashtirishga hamda mexanik harakat orqali borliqning eng sodda harakat shakllarini, atrof-muhitda sodir bo'layotgan hamma o'zgarishlarni chuqur tushunib yetishga hamda inshoot elementlarini mustahkamligi, bikrligi va ustivorligini hisoblashga o'rgatishdan iboratdir. Materiallar qarshiligi nafaqat hozirgi zamon, xatto hali yaratilmagan texnika sohalari uchun ham eng asosiy ilmiy baza bo'lib xizmat qiladi. Fanning vazifasi - talabalarga mexanik harakat qonunlarini , harakatning differentsial tenglamalarini tuzish va ularni integrallash, inshoot elementlarini mustahkamligi, bikrligi va ustivorligini baholash, tabiat hodisalariga ilmiy talqin berish va kinematik – dinamik xususiyatlarini o'rgatish, ilmiy –texnikaviy taraqqiyot jarayonida uchraydigan turlicha masalalar va yangiliklarni mustaqil ravishdvd hal qilishni o'rgatishlardan iborat.					
Talabalar uchun talablar	- o'qituvchiga va guruhdoshlarga nisbatan hurmat bilan munosabatda bo'lish; - institut ichki tartib - intizom qoidalariga rioya qilish; - uyali telefonni dars boshlanishidan oldin o'chirish; - berilgan uy vazifasi va mustaqil ish topshiriqlarini o'z vaqtida va sifatli bajarish; - ko'chirmachilik (plagiat) qat'iyan man etiladi; - darslarga qatnashish majburiy hisoblanadi, dars qoldirilgan holatda qoldirilgan darslar qayta o'zlashtirilishi shart; - darslarga oldindan tayyorlanib kelish va faol ishtirok etish; - talaba o'qituvchidan so'ng, dars xonasiga - mashg'ulotga kiritilmaydi; - talaba reyting ballidan norozi bo'lsa e'lon qilingan vaqtdan boshlab 1 kun mobaynida apellyatsiya komissiyasiga murojat qilishi mumkin					
Elektron pochta orqali munosabatlar tartibi	Professor-o'qituvchi va talaba o'rtasidagi aloqa elektron pochta orqali ham amalga oshirilishi mumkin, telefon orqali baho masalasi muhokama qilinmaydi, baholash faqatgina institut hududida, ajratilgan xonalarda va dars davomida amalga oshiriladi. Elektron pochta ochish vaqti soat 15.00 dan 20.00 gacha					

Fan mavzulari va unga ajratilgan saotlar taqsimoti:

№	Mavzular	Ma'ruza	Amaliy (seminar)	Mustaqil ish	
				AYA	
1.	Kirish. Fanning maqsadi va vazifalari. Asosiy gipoteza va prinsiplar. Jism va kuchlarning tasnifi.	2	2	4	
2.	Tashqi kuchlar va ularning tasnifi.	2	2	4	
3.	Cho'zilish va siqilish. To'g'ri sterjenning cho'zilishi-siqilishi. Statik noaniq masalalar va ularni echish.	2	2	4	
4.	Kuchlanish holatlari turlari. Kuchlanish va deformatsiyalanish holatlari nazariyasi.	2	2	4	
5.	Tekis kuchlanish holatida ekstremal urinma kuchlanishlarni hisoblash. Mor doirasi.	2	2	4	
6.	Tekis kesim yuzalarining geometrik xarakteristikalar.	2	2	5	
7.	Sof siljish. Buralish. To'g'ri brusning buralishi.	2	2	4	
8.	Tekis egilish. Normal kuchlanishni hisoblash. Mustahkamlik shartlari.	2	2	4	
9.	Balka egilgan o'qining differensial va universal tenglamalari	2	2	5	
10.	Kuchlanishlarni hisoblashning energetik usullari	2	2	5	
11.	Statik noaniq sistemalarni kuch usulida hisoblash.	2	2	4	
12.	Siqilgan sterjenlarning ustivorligi. Kritik kuchni aniqlash. Eyler formulasidan foydalanish chegarasi. Yasinskiy formulasi. Uchtivorlikka hisoblashning asta-sekin yaqinlashish usuli	2	2	4	
13.	Qiya egilish. Markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilish.	2	2	5	
14.	Mustahkamlik nazariyalari.	2	2	4	
15.	Dinamik kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash. Siklli o'zgaruvchan kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash.	2	2	5	
	Jami	30	30	65	

NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-Mavzu. Kirish. Fanning maqsadi va vazifalari. Asosiy gipoteza va prinsiplar. Jism va kuchlarning tasnifi.

Kirish kursning umum ta'lim, umummuhandislik va maxsus fanlar bilan bog'liqligi. Brus, plastina, qobiq, massivlarga ta'rif. Burchakli va chiziqli ko'chishlar. Elastiklik va plastiklik. Izotropiya va anizotropiya haqida tushunchalar. Sen-Venan prinsipi. Kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipi.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

2-mavzu. Tashqi kuchlar va ularning tasnifi. Tashqi kuchlar va ularning tasnifi. Berilgan yuklar va tayanchlar reaksiyalari. Statik va dinamik kuchlar. O'zgarmas va vaqtga bog'liq holda o'zgaruvchan kuchlar. Ichki kuchlar va ularni o'rganish (kesish usuli). To'la, normal va urinma kuchlanishlar, ko'chishlar va deformatsiya.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

3-mavzu. Cho'zilish va siqilish. To'g'ri sterjenning cho'zilishi-siqilishi. To'g'ri sterjenning cho'zilishi-siqilishi. Sterjen ko'ndalang kesim yuzalaridagi kuchlanishlar. Bo'y lama va ko'ndalang deformatsiyalar, Guk qonuni. Puasson koeffitsienti. Elastiklik moduli. Chiziqli ko'chishlarni aniqlash. Deformatsiyaning potensial energiyasi, cho'zilish va siqilishda mustahkamlik va bikriklikka hisoblash. Statik noaniq masalalar.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

4-mavzu. Kuchlanish holatlari turlari. Kuchlanish va deformatsiyaning holatlari nazariyasi. Kuchlanish holatlarini tekshirish. Nuqtaning kuchlanish holati. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni. Kuchlanish holatining komponentlari. Kuchlanish holatining turlari. Tekis kuchlanish holatida qiya kesimlardagi kuchlanishlarni hisoblash, bosh yuzalarning holatini aniqlash, bosh kuchlanishlarni hisoblash, ekstremal urinma kuchlanishlarni hisoblash.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

5-mavzu. Tekis kuchlanish holatida ekstremal urinma kuchlanishlarni hisoblash. Mor doirasi. Kuchlanish holatini grafik usulda tekshirish, Mor doirasi. Umumlashtirilgan Guk qonuni. Hajmiy deformatsiya. Deformatsiyaning potentsial energiyasi.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

6-mavzu. Tekis kesim yuzalarining geometrik xarakteristikalar. Tekis shakllarning geometrik xarakteristikalar. SHaklning statik momentlari. YUzaning o'qqa nisbatan, qutb va markazdan qochirma inersiya momentlari. O'qlar parallel ko'chirilganda inersiya momentlarining o'zgarishi. O'qlar burilganda inersiya momentlarining o'zgarishi. Bosh o'qlar va bosh inersiya momentlari. Turli shakllar uchun bosh o'qlarning holatini aniqlash va bosh inersiya momentlarini hisoblash.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

7-mavzu. Sof siljish. Buralish. To'g'ri brusning buralishi. Sof siljish. To'g'ri sterjenning buralishi. Sof siljishda bosh kuchlanishlar. Siljish uchun Guk qonuni. Siljish moduli. Izotrop jism uchun uchta doimiylar orasidagi bog'lanish. Siljishda hajmning o'zgarmasligi. Siljishda deformatsiyaning potentsial energiyasi. Buralishda urinma kuchlanishlar. Buralish burchagi. Nisbiy buralish burchagi. Buralishda bikrlilik. Mustahkamlik va bikrlilik shartlari. Buralishda statik noaniq masalalar.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

8-mavzu. Tekis egilish. Normal kuchlanishni hisoblash. Mustahkamlik shartlari. Tekis egilish. Egilishda balka ko'ndalang kesim yuzalarida paydo bo'ladigan ichki kuchlar (ko'ndalang kuch va eguvchi moment). Eguvchi moment, ko'ndalang kuch va yoyilgan kuch intensivligi orasidagi differensial bog'lanishlar. Sof va ko'ndalang egilishlar. Sof egilishda eguvchi moment hamda egilgan o'q egriligi orasidagi bog'lanish. Egilishda bikrlilik. Egilishda normal kuchlanishlar. Mustahkamlik shartlari.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

9-mavzu. Balka egilgan o'qining differensial va universal tenglamalari Egilishda deformatsiyalar. Salqilik va buralish burchagi orasidagi differensial bog'lanish. Balka egilgan o'qining taqribiy differensial tenglamasi. CHegaraviy shartlar. Boshlang'ich arametrar usuli – universal tenglama.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

10-mavzu. Kuchlanishlarni hisoblashning energetik usullari Kuchlanishlarni hisoblashning energetik usullari. Kastilyano teoremasi. Mor integrallari. Vereshchagin usuli. Bajirilgan ishlar bilan ko'chishlarning o'zaro bog'liqligi haqidagi teoremlar.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

11-mavzu. Statik noaniq sistemalarni kuch usulida hisoblash. Statik noaniq sistemalar. Sistemaning kinematik qo'zg'almas, geometrik o'zgarmas bo'lish sharti. Sistemaning statik noaniqlik darajasi. Kuch usuli. Kuch usulining kanonik tenglamalari. Simmetriya xossalardan foydalanish.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

12-mavzu. Siqilgan sterjenlarning ustivorligi. Kritik kuchni aniqlash. Eyler formulasidan foydalanish chegarasi. Ustivorlik. Muvozanatning ustivor va noustivor shakllari haqida tushuncha. Kritik kuch. Siqilgan sterjenlarning ustivorligi. Eyler formulasi va undan foydalanish chegarasi. Kritik kuchlanish. Egiluvchanlik. CHegaraviy egiluvchanlik. **Yasinskiy formulasi. Uchtivorlikka hisoblashning asta-sekin yaqinlashish usuli.** Kuchlanishlar proporsionallik chegarasidan ortib ketganda ustivorlikning yo'qolishi to'g'risida tushuncha. Yasinskiy formulasi. Ustivorlik sharti. Ruqsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsienti. Asta-sekin yaqinlashish usuli.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

13-mavzu. Qiya egilish. Markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilish. Murakkab qarshilik. Qiya egilish, normal kuchlanishlarni hisoblash, neytral o'q tenglamasi, mustahkamlik shartlari. Markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilish, normal kuchlanishlarni hisoblash, neytral o'q tenglamasi, mustahkamlik shartlari

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

14-mavzu. Mustahkamlik nazariyalari. Mustahkamlik nazariyalari, ularni egilish bilan buralishning birgalikda ta'siridan mustahkamlikka hisoblashga tadbiq etish.

Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat.*

15-mavzu. Dinamik kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash. Dinamik kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash.

Dalamber prinsipi. Dinamik koeffitsient. Zarb kuchlari ta'sirini hisoblash. Siklli o'zgaruvchan kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash. Simmetrik va asimmetrik sikllar. Siklning asosiy xarakteristikalari va chidamlilik chegarasi. Vyoler egri chizig'i. Chidamlilik chegarasi. Charchash mustahkamligining extiyotlik koeffitsienti.
Qo'llaniladigan ta'lim texnologiyalari: *dialogik yondashuv, muammoli ta'lim. Blits, munozara, o'z-o'zini nazorat*

Asosiy adabiyotlar:	1. Ferdinand P. Veer., E. Russell Johnston, Jr., John T. De Wolf., David F. Mazurek. Mechanics of materials – USA 2015.-897 p. 2. Набиев А. Материаллар қаршилиги –Т.: Янги аср авлоди. 2008. -379 б. 3. Nabiev A. Xasanov S. Materiallar qarshiligi. Oliy o'quv yurtlari uchun o'quv qo'llanma. –Т.: Fan, 2005. -380 b. 4. Xasanov S. M. Materiallar qarshiligidan masalalar echish. –Т.: “O'zbekiston milliy ensiklopediyasi” Davlat ilmiy nashriyoti, 2014. -323 b. 5. Qoraboev X. T. Materiallar qarshiligi. –Т.: “Fan va texnologiya”, 2007.
Qo'shimcha adabiyotlar:	1. Мирзиёев Ш.М. Эркин ва фаровон, демократик Ўзбекистон давлатини биргаликда барпо этамиз. Президентининг лавозимига киришиш тантанали маросимига бағишланган Олий Мажлис палаталарининг қўшма мажлисидаги нутқи. –Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2016. -56 б. 2. Мирзиёев Ш.М. Қонун устиворлиги ва инсон манфаатларини Ўзбекистон Республикаси Конституцияси қабул қилинганининг 24 йиллигига бағишланган тантанали маросимдаги маъруза 2016 йил 7 декабрь. – Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2016. -48 б. 3. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажакимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга қурамиз. – Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2017. -488 б. 4. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида. Т.: 2017 йил 7 февраль, ПФ-4947-сонли Фармони. 5. Maxkamov T.X., Golovnina V.M. “Materiallar qarshiligi” fanidan tajriba ishlarini bajarish uchun uslubiy ko'rsatma. –Т.: ToshDTU, 2006. 6. Maxkamov T.X., Golovnina V.M. “Materiallar qarshiligi” fanidan ichki kuch omillarining epyuralarini qurish bo'yicha uslubiy ko'rsatma. –Т.: ToshDTU, 2007. 7. Александров А.Б. и др. “Сопротивление материалов” М.: Высшая школа, 2001. -560 с. 8. Федосьев В.И. “Сопротивление материалов” – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. -592 с. 9. Агамиров Л.В. Сопротивление материалов, -М.: АСТ, Астрель 2003. -255 с.
Elektron resurslar	1. WWW.gov.uz – O'zbekiston Respublikasi hukumat portali. 2. WWW.lex.uz– O'zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi. 3. WWW.ilm.uz. 4. WWW.ziyo.net. 5. WWW.Referat.uz

**O'ZBEKISTON- RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH INSTITUTI**

Ro'yxatga olindi:

“TASDIQLAYMAN”

O'quv ishlari bo'yicha prorektor

№ _____
“ ____ ” _____ 2022_ yil

“ ____ ” _____ 2022_ yil

**“MATERIALLAR QARSHILIGI” fanining
ISHCHI O'QUV DASTURI**

Bilim sohasi: 300000 – Ishlab chiqarish – texnik soha
600000 – Xizmatlar sohasi

Ta'lim sohasi: 310000 - Muhandislik ishi;
320000 – Ishlab chiqarish texnologiyasi;
610000 – Xizmat ko'rsatish;

Ta'lim yo'nalishi: 5320300 – Texnologik mashinalar va jihozlar;

Semestr	Fan tarkibi						Nazorat turi	Ja'mi o'quv soati
	Ma'ruza	Amaliy mashg'ulot	Laboratoriya ishlari	Seminar mashg'uloti	Mustaqil ta'lim	Kurs ishi (loyihasi)		
Kunduzgi bo'lim								
III	30	30	18	-	65	-	+	140
jami	30	30	18	-	65	-	+	140

Namangan – 2022

*Fanning ishchi o'quv dasturi OO'MTV ning 18.08.2021 yildagi № 154-5340200 -sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan **"Materiallar qarshiligi"** fanining o'quv dasturiga muvofiq ishlab chiqildi.*

Tuzuvchilar:

J.Daminov - NamMQI, «Materiallar qarshiligi va mexanika» kafedrası dotsenti.

Taqrizchilar:

A.Xakimov - NamMQI, «Materiallar qarshiligi va mexanika» kafedrası dotsenti.

ISHCHI DASTUR

« Materiallar qarshiligi va mexanika» Mutaxassislik kafedra(lari) bilan kelishildi
kafedrasining 2022 yil 28 avgust 1-sonli
yig'ilishida ma'qullandi

Kafedra mudiri:

Kafedra mudiri:
_____dots.Yo.K.Tillaboyev

«_____» _____ 2022 yil

I. O‘quv fanining dolzarbligi va oliy kasbiy ta’limdagi o‘rni

Mashinalar, asboblarning va transport vositalarining yangi konstruksiyalarini yaratishning eng muhim shartlaridan biri ularning quvvat birligiga to‘g‘ri keladigan tannarxini kamaytirish, mashinasozlikda kam legirlangan po‘lat prokatlaridan, bukilgan, shakldor va aniq profildagi materiallardan, metal kukunlaridan, kompozitsion materiallardan hamda plastmassadan foydalanish hisobiga yangi mashina, mexanizm va uskunalarni loyihalashda metallardan foydalanish samaradorligini oshirish hisoblanadi. Bularning hammasi mutaxassislardan mustahkamlikka hisoblashga keng ilmga ega bo‘lish hamda kuchlanish va deformatsiyalarni tajriba yo‘li bilan aniqlash bo‘yicha etarli tayyorgarlikka hamda malakaga ega bo‘lishni talab etadi.

Ham statik, ham dinamik kuchlar ta’sirida bo‘ladigan konstruksiyalarni havoratni hamda uzoq, muddat ishlatilishini hisobga olib, mustahkamlik, birklik va ustivorlikka hisoblash masalasini to‘g‘ri echish mashina va apparatlarning uzoq muddat va puxta ishlashini hamda og‘irlik ko‘rsatkichlarini yaxshilashning muhim omili hisoblanadi.

“Materiallar qarshiligi” fani umumkasbiy fanlar blokiga kiritilgan kurs hisoblanib, 2-kursda o‘qitiladi. “Materiallar qarshiligi” aniq fanlar turkumiga kiradi va barcha mexanika ta’lim yo‘nalishlarida o‘qitiladi. Dasturni amalga oshirish bakalavrturaning ushbu ta’lim yo‘nalishida o‘qish jarayonida ushbu o‘quv fani bo‘yicha o‘zlashtirilgan ma’lumotlarga hamda o‘quv rejasida rejalashtirilgan (oliy matematika, fizika, chizmachilik, nazariy mexanika) fanlarini bilishga asoslanadi. O‘z navbatida fan “Mashinasozlik texnologiyalari asoslari”, “Metallarga deformatsiyalab ishlov berish”, “Avtomobil va traktorlar konstruksiyasi”, “Uchish apparatlarini konstruksiyasi va mustahkamligi” va “Havo kemalarining ekspluatatsion ishonchligi” fanlarini o‘zlashtirishga uslubiy jihatdan asos bo‘ladi.

II. O‘quv fanining maqsadi va vazifasi

Fanning maqsadi kam material sarf etib, arzon va uzoq vaqt ishlaydigan konstruksiyalarni yaratishdan iborat.

Fanni o‘zlashtirishda talabalarning o‘quv amaliyotini, laboratoriya ishlarini o‘tishda, ularga avtomatlashtirilgan tarzda hisoblashning zamonaviy texnologiyalarini keng tarzda qo‘llash ko‘zda tutilgan.

- o‘quv fanini o‘zlashtirish jarayonida amalga oshiriladigan masalalar doirasida bakalavr:

- bilimlarning bir butun tizimi bilan o‘zaro bog‘liqlikda ushbu fanning asosiy muammolari;

- o‘zining bo‘lajak kasbining mohiyati va ijtimoiy ahamiyati;

- materiallar qarshiligi sohasida respublikamizdagi ijtimoiy-iqtisodiy islohotlar natijalari, xududiy muammolar va fan-texnika va texnologiya yutuqlari haqida tasavvurga ega bo‘lish;

- konstruksiya va konstruksiya elementlarini ruxsat etilgan kuchlanish bo‘yicha hisoblashni;

- konstruksiya va konstruksiya elementlarini chekli yuk ko‘tarish qobiliyati bo‘yicha hisoblashni;

- elastik sistemadagi ko'chishlarni aniqlash usullarini;
- konstruksiya materiallarini mexanik xarakteristikalarini;
- konstruksiya elementlarining kesim yuzalarining geometrik xarakteristikalarini;
- konstruksiyalarni hisoblash sxemalarini;
- statik va dinamika tenglamalarini tuzishni va real konstruksiya uchun bu tenglamalarni EHM yordamida hisoblashni bilish va ulardan foydalana olish;
- konstruksiya va konstruksiya elementlarini mustahkamlikka, bikrlikka ustivorlikka va chidamlilikka hisoblash ko'nikmalariga ega bo'lishi kerak.

Qo'yilgan vazifalar o'qish jarayonida talabalarning ma'ruza, tajriba va amaliy mashg'ulotlarida faol ishtirok etishi, hisob-grafik ishlarini bajarishi, adabiyotlar bilan mustaqil ishlashi va o'qituvchi kuzatuvda mustaqil ta'lim olishi bilan amalga oshadi.

III. Asosiy nazariy qism (ma'ruza mashg'ulotlari)

1-Modul. Asosiy mulohazalar.

1-mavzu. Kirish. Fanning maqsadi va vazifalari. Asosiy gipoteza va prinsiplar.

Jism va kuchlarning tasnifi.

Kirish kursning umum ta'lim, umummuhandislik va maxsus fanlar bilan bog'liqligi. Brus, plastina, qobiq, massivlarga ta'rif. Burchakli va chiziqli ko'chishlar. Elastiklik va plastiklik. Izotropiya va anizotropiya haqida tushunchalar. Sen-Venan prinsipi. Kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipi.

2-mavzu. Tashqi kuchlar va ularning tasnifi.

Tashqi kuchlar va ularning tasnifi. Berilgan yuklar va tayanchlar reaksiyalari. Statik va dinamik kuchlar. O'zgaras va vaqtga bog'liq holda o'zgaruvchan kuchlar. Ichki kuchlar va ularni o'rganish (kesish usuli). To'la, normal va urinma kuchlanishlar, ko'chishlar va deformatsiya.

3-mavzu. Cho'zilish va siqilish. To'g'ri sterjenning cho'zilishi-siqilishi.

To'g'ri sterjenning cho'zilishi-siqilishi. Sterjen ko'ndalang kesim yuzalaridagi kuchlanishlar. Bo'ylama va ko'ndalang deformatsiyalar, Guk qonuni.

4-mavzu. Statik noaniq masalalar va ularni echish.

Puasson koeffitsienti. Elastiklik moduli. Chiziqli ko'chishlarni aniqlash. Deformatsiyaning potensial energiyasi, cho'zilish va siqilishda mustahkamlik va bikrlikka hisoblash. Statik noaniq masalalar.

2-Modul. Kuchlanish holatlari.

5-mavzu. Kuchlanish holatlari turlari. Kuchlanish va deformatsiyaning holatlari nazariyasi.

Kuchlanish holatlarini tekshirish. Nuqtaning kuchlanish holati. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni. Kuchlanish holatining komponentlari. Kuchlanish holatining turlari. Tekis kuchlanish holatida qiya kesimlardagi kuchlanishlarni hisoblash, bosh yuzalarning holatini aniqlash, bosh kuchlanishlarni hisoblash, ekstremal urinma kuchlanishlarni hisoblash.

6-mavzu. Tekis kuchlanish holatida ekstremal urinma kuchlanishlarni hisoblash. Mor doirasi.

Kuchlanish holatini grafik usulda tekshirish, Mor doirasi. Umumlashtirilgan Guk qonuni. Hajmiy deformatsiya. Deformatsiyaning potensial energiyasi.

7-mavzu. Tekis kesim yuzalarining geometrik xarakteristikalarini.

Tekis shakllarning geometrik xarakteristikalar. SHaklning statik momentlari. YUzaning o'qqa nisbatan, qutb va markazdan qochirma inersiya momentlari. O'qlar parallel ko'chirilganda inersiya momentlarining o'zgarishi. O'qlar burilganda inersiya momentlarining o'zgarishi. Bosh o'qlar va bosh inersiya momentlari. Turli shakllar uchun bosh o'qlarning holatini aniqlash va bosh inersiya momentlarini hisoblash.

8-mavzu. Sof siljish. Buralish. To'g'ri brusning buralishi.

Sof siljish. To'g'ri sterjenning buralishi. Sof siljishda bosh kuchlanishlar. Siljish uchun Guk qonuni. Siljish moduli. Izotrop jism uchun uchta doimiylar orasidagi bog'lanish. Siljishda hajmning o'zgarmasligi. Siljishda deformatsiyaning potentsial energiyasi. Buralishda urinma kuchlanishlar. Buralish burchagi. Nisbiy buralish burchagi. Buralishda bikrlilik. Mustahkamlik va bikrlilik shartlari. Buralishda statik noaniq masalalar.

3-Modul. Egilishda hosil bo'ladigan deformatsiyalar.

9-mavzu. Tekis egilish. Normal kuchlanishni hisoblash. Mustahkamlik shartlari.

Tekis egilish. Egilishda balka ko'ndalang kesim yuzalarida paydo bo'ladigan ichki kuchlar (ko'ndalang kuch va eguvchi moment). Eguvchi moment, ko'ndalang kuch va yoyilgan kuch intensivligi orasidagi differensial bog'lanishlar. Sof va ko'ndalang egilishlar. Sof egilishda eguvchi moment hamda egilgan o'q egriligi orasidagi bog'lanish. Egilishda bikrlilik. Egilishda normal kuchlanishlar. Mustahkamlik shartlari.

10-mavzu. Balka egilgan o'qining differensial va universal tenglamalari

Egilishda deformatsiyalar. Salqilik va buralish burchagi orasidagi differensial bog'lanish. Balka egilgan o'qining taqribiy differensial tenglamasi. CHegaraviy shartlar. Boshlang'ich arametrlar usuli – universal tenglama.

11-mavzu. Kuchlanishlarni hisoblashning energetik usullari

Kuchlanishlarni hisoblashning energetik usullari. Kastilyano teoremasi. Mor integrallari. Vereshchagin usuli. Bajarilgan ishlar bilan ko'chishlarning o'zaro bog'liqligi haqidagi teoremlar.

12-mavzu. Statik noaniq sistemalarni kuch usulida hisoblash.

Statik noaniq sistemalar. Sistemaning kinematik qo'zg'almas, geometrik o'zgarmas bo'lish sharti. Sistemaning statik noaniqlik darajasi. Kuch usuli. Kuch usulining kanonik tenglamalari. Simmetriya xossaligidan foydalanish.

13-mavzu. Siqilgan sterjenlarning ustivorligi. Kritik kuchni aniqlash. Eyler formulasidan foydalanish chegarasi.

Ustivorlik. Muvozanatning ustivor va noustivor shakllari haqida tushuncha. Kritik kuch. Siqilgan sterjenlarning ustivorligi. Eyler formulasi va undan foydalanish chegarasi. Kritik kuchlanish. Egiluvchanlik. CHegaraviy egiluvchanlik.

14-mavzu. Yasinskiy formulasi. Uchtivorlikka hisoblashning asta-sekin yaqinlashish usuli

Kuchlanishlar proporsionallik chegarasidan ortib ketganda ustivorlikning yo'qolishi to'g'risida tushuncha. YAsinskiy formulasi. Ustivorlik sharti. Ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsienti. Asta-sekin yaqinlashish usuli.

4-Modul. Murakkab qarshilik, mustahkamlik nazariyalari va dinamik yuklanish.

15-mavzu. Qiya egilish. Markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilish.

Murakkab qarshilik. Qiya egilish, normal kuchlanishlarni hisoblash, neytral o'q tenglamasi, mustahkamlik shartlari. Markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilish, normal kuchlanishlarni hisoblash, neytral o'q tenglamasi, mustahkamlik shartlari.

16-mavzu. Mustahkamlik nazariyalari.

Mustahkamlik nazariyalari, ularni egilish bilan buralishning birgalikda ta'siridan mustahkamlikka hisoblashga tadbqiq etish.

17-mavzu. Dinamik kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash.

Dinamik kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash. Dalamber prinsipi. Dinamik koeffitsient. Zarb kuchlari ta'sirini hisoblash.

18-mavzu. Siklli o'zgaruvchan kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash.

Siklli o'zgaruvchan kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash. Simmetrik va asimmetrik sikllar. Siklning asosiy xarakteristikalar va chidamlilik chegarasi. Vyoler egri chizig'i. Chidamlilik chegarasi. Charchash mustahkamligining extiyotlik koeffitsienti.

“Materiallar qarshiligi” fani bo'yicha ma'ruza mashg'ulotining

tematik rejasi

3-semestr. 36 soat.

№	Ma'ruza mavzulari	Soat
1	Kirish. Fanning maqsadi va vazifalari. Asosiy gipoteza va prinsiplar. Jism va kuchlarning tasnifi.	2
2	Tashqi kuchlar va ularning tasnifi.	2
3	Cho'zilish va siqilish. To'g'ri sterjenning cho'zilishi-siqilishi. Statik noaniq masalalar va ularni echish.	2
4	Kuchlanish holatlari turlari. Kuchlanish va deformatsiyalanish holatlari nazariyasi.	2
5	Tekis kuchlanish holatida ekstremal urinma kuchlanishlarni hisoblash. Mor doirasi.	2
6	Tekis kesim yuzalarining geometrik xarakteristikalar.	2
7	Sof siljish. Buralish. To'g'ri brusning buralishi.	2
8	Tekis egilish. Normal kuchlanishni hisoblash. Mustahkamlik shartlari.	2
9	Balka egilgan o'qining differensial va universal tenglamalari	2
10	Kuchlanishlarni hisoblashning energetik usullari	2
11	Statik noaniq sistemalarni kuch usulida hisoblash.	2
12	Siqilgan sterjenlarning ustivorligi. Kritik kuchni aniqlash. Eyler formulasidan foydalanish chegarasi. Yasinskiy formulasi. Uchtivorlikka hisoblashning asta-sekin yaqinlashish usuli	2
13	Qiya egilish. Markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilish.	2
14	Mustahkamlik nazariyalari.	2
15	Dinamik kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash. Siklli o'zgaruvchan kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash.	2
	Jami	30

IV. Amaliy mashg'ulotlar bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar.

Amaliy mashg'ulotlarda materiallar qarshiligining asosiy mavzulari bo'yicha turli konstruksiyalarni mustahkamlikka, bikrlikka va ustivorlikka hisoblash, loyihalash va tekshiruv hisoblarini bajarishga doir misollar va masalalarni echish ko'rib chiqiladi.

1. Cho'zilish-siqilishda statik aniq masalalar.
2. Cho'zilish-siqilishda statik noaniq masalalar.
3. Sterjenning buralishi. Statik aniq va noaniq masalalar.

4. Tekis shakllarning geometrik xarakteristikalarini.
5. Balkalarda ichki kuch omillarining analizi.
6. Statik aniq balkalarni mustahkamlikka hisoblash.
7. Balkalarda chiziqli va burchakli ko'chishlarni aniqlash.
8. Sterjenning qiya (qiyshiq) egilishida va markaziy bo'lmagan cho'zilish-siqilishda mustahkamlikka hisoblash.
9. Tekis ramalar uchun eguvchi moment epyuralarini qurish.
10. Tekis fazoviy va fazoviy ramalar uchun eguvchi va burovchi moment epyuralarini qurish.
11. Tekis fazoviy va fazoviy ramalar uchun chiziqli va burchak ko'chishlarni aniqlash.
12. Tekis ramalarda va egriligi kichik bo'lgan egri sterjenlarda chiziqli va burchak ko'chishlarni aniqlash.
13. Statik noaniq tekis ramalar va egriligi kichik bo'lgan egri sterjenlar hisobi.
14. Statik noaniq tekis fazoviy va fazoviy ramalar hisobi.
15. Statik noaniq balkalar hisobi.
16. Sterjen umumiy holda yuklanganida mustahkamlikka hisoblash.
17. Umumiy holda yuklangan yupqa devorli trubalarni mustahkamlikka hisoblash.
18. O'qqa nisbatan simmetrik yuklangan doirasimon qobiqlarni momentsiz nazariya bo'yicha hisoblash.
19. Silindrik qobiqning o'qqa nisbatan simmetrik egilganida chegaraviy effekt hisobi.
20. O'qqa nisbatan simmetrik yuklangan doiraviy plastinalar hisobi.
21. Qalin devorli silindrlar hisobi.
22. Qalin devorli qo'shma silindrlar hisobi.
23. Statik aniq va statik noaniq cho'zilish-siqilishga ishlaydigan sterjenlarni elastiklik chegarasidan keyingi hisobi.
24. Statik aniq balkalarning elastiklik chegarasidan keyingi hisobi. Qoldiq deformatsiyalarni aniqlash.
25. Statik noaniq balka va ramalar uchun chegaraviy yukni aniqlash.

26. Doiraviy kesim yuzali buralishga ishlaydigan bruslarni elastiklik chegarasidan keyingi hisobi.
27. Siqilgan sterjenlar uchun elastik chiziqning differensial tenglamasini integrallash yo'li bilan kuchlarni aniqlash.
28. Siqilgan sterjenlar uchun kritik kuchni energetik usul bilan aniqlash.
29. Siqilgan sterjen uchun ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsienti bo'yicha hisoblash.
30. Bir o'qli kuchlanish va sof siljishda chidamlilikka hisoblashlar.
31. Egilish bilan buralish birga sodir bo'lganda vallarni chidamlilikka hisoblash.
32. Zarbaviy kuch ta'siriga hisoblash.

Amaliy mashg'ulotlarni tashkil etish bo'yicha kafedra professor-o'qituvchilari tomonidan uslubiy ko'rsatmalar va tavsiyalar ishlab chiqiladi. Unda talabalar ma'ruza mavzulari bo'yicha olgan bilimlarini amaliy masalalar echish orqali ko'nikmalarga aylantiradilar. Amaliy mashg'ulotlar mavzusi bo'yicha echilishi kerak bo'lgan masalalarga doir bo'lgan o'quv qo'llanmalarni elektron variantini talabalarga tavsiya qilish lozim.

**“Materiallar qarshiligi” fani bo'yicha amaliy mashg'ulotining
tematik rejasi 3-semestr. 30 soat.**

№	Ma'ruza mavzulari	Soat
1	Cho'zilish-siqilishda statik aniq va noaniq masalalar.	4
2	Sterjenning buralishi. Statik aniq va noaniq masalalar.	4
3	Tekis shakllarning geometrik xarakteristikalar.	4
4	Balkalarda ichki kuch omillarining analizi.	2
5	Statik aniq balkalarni mustahkamlikka hisoblash.	4
6	Balkalarda chiziqli va burchakli ko'chishlarni aniqlash.	4
7	Sterjenning qiya (qiyshiq) egilishida va markaziy bo'lmagan cho'zilish-siqilishda mustahkamlikka hisoblash.	4
8	Tekis ramalar uchun eguvchi moment epyuralarini qurish.	2
9	Tekis fazoviy va fazoviy ramalar uchun eguvchi va burovchi moment epyuralarini qurish.	2
	Jami	30

V. Laboratoriya ishlari bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar

Laboratoriya ishlari talabalarda konstruksiya va uning qismlarini turli kuchlar ta'sirida hosil bo'ladigan deformatsiyalarini aniqlash, asosiy o'lcham va parametrlarini o'rganish hamda eksperiment yordamida turli xarakteristikalarini aniqlash bo'yicha ko'nikma va malaka hosil qilishga qaratilgan.

1. Uglerodli va ligerlangan po'latlarni cho'zilishga sinash bilan cho'zilish diagrammasini qurish.
2. Po'lat uchun elastiklik moduli va ko'ndalang deformatsiya koeffitsientini aniqlash.

3. Cho‘yan va plastmassalarni cho‘zilishga sinash.
4. Po‘lat, cho‘yan, plastmassa va yog‘ochni siqilishga sinash.
5. Po‘lat va cho‘yan namunalarini buralishga sinash. Buralish diagrammasini qurish. Siljish modulini aniqlash.
6. Buralishda kuchlanish holatini tajriba yo‘li bilan tadqiqot qilish (yupqa devorli trubani buralishga sinab).
7. Ikkita tayanchda erkin yotuvchi balkani sinash misolida egilish nazariyasini tajriba yo‘li bilan tekshirish.
8. Konsol balka misolida qiya (qiyshiq) egilish nazariyasini tajriba yo‘li bilan tekshirish.
9. Markaziy bo‘lmagan cho‘zilish-siqilish hodisasini tajriba yo‘li bilan tekshirish.
10. Egriligi katta brusning egilish nazariyasini tajriba yo‘li bilan tekshirish.
11. Turli ko‘rinishdagi yupqa devorli profillarning egilish markazini tajriba yo‘li bilan topish.
12. Bo‘ylama egilish nazariyasini tajriba yo‘li bilan tekshirish (ustivorlik yo‘qoladigan kritik kuchni aniqlash).
13. Ikki oraliqli tutash balkaning oraliq tayanchidagi reaksiyani tajriba yo‘li bilan aniqlash.
14. Ko‘chishlarning o‘zaro munosabatda bo‘lishi haqidagi teoremani tajriba yo‘li bilan tekshirish.
15. Har xil yuklanishlar ostida bo‘lgan ramalarning turli konstruksiyalarning deformatsiyalangan holatini tajriba yo‘li bilan o‘rganish.
16. Prujinalarni cho‘zilish, siqilish va buralishga sinash. Ularni xarakteristikalarini aniqlash.
17. Sterjenlarning, bosim ostidagi sig‘imlarning va konstruksiya elementlarining kuchlanishlar to‘planadigan joylaridagi kuchlanish holatini tenzometrlar yordamida tajriba yo‘li bilan tekshirish.
18. Buralishga ishlayotgan sterjenlarning ko‘ndalang kesim yuzalaridagi kuchlanishlar taqsimlanishini membrana o‘xshatishi yordamida tadqiqot etish.
19. Kuchlanishni tekshirishning polyarizatsion-optik usuli va uni muhandislik masalalarini echishda qo‘llash.
20. Chidamlilikka tekshirish uslubiyoti.

21. Zarb ta'sirida sinash. Zarbiy qovushqoqlikni va mo'rtlikning kritik temperaturasini aniqlash.

22. Turli usullar bilan qattqlikni aniqlash.

23. Mustaqil ishni tashkil etishning shakli va mazmuni.

Tajriba ishlarini o'tkazish uchun uslubiy qo'llanmalar ishlab chiqish zarur. Tajriba ishini o'tkazishdagi bajarilishi kerak bo'lgan ishlarning ketma-ketligini ifodalovchi yo'riqnomani ishlab chiqish tavsiya etiladi. Talabalar bilan laboratoriya ishini bajarishdan oldin mavzuga ta'luqli bo'lgan nazariy ma'lumotlarni takrorlash tavsiya etiladi. Har bir talaba tomonidan tajriba yo'li bilan olingan ma'lumotlarni umumlashtirish tavsiya etiladi. Tajriba yo'li bilan olingan ma'lumotlarni, nazariy yo'l bilan olingan ma'lumotlarga taqqoslash tavsiya etiladi.

**“Materiallar qarshiligi” fani bo'yicha laboratoriya mashg'ulotining
tematik rejasi 3-semestr. 18 soat.**

№	Ma'ruza mavzulari	Soat
1	Uglerodli va ligerlangan po'latlarni cho'zilishga sinash bilan cho'zilish diagrammasini qurish.	2
2	Po'lat uchun elastiklik moduli va ko'ndalang deformatsiya koeffitsientini aniqlash.	2
3	Po'lat, cho'yan, plastmassa va yog'ochni siqilishga sinash.	2
4	Po'lat va cho'yan namunalarini buralishga sinash. Buralish diagrammasini qurish. Siljish modulini aniqlash.	2
5	Ikkita tayanchda erkin yotuvchi balkani sinash misolida egilish nazariyasini tajriba yo'li bilan tekshirish.	2
6	Markaziy bo'lmagan cho'zilish-siqilish hodisasini tajriba yo'li bilan tekshirish.	2
7	Bo'ylama egilish nazariyasini tajriba yo'li bilan tekshirish (ustivorlik yo'qoladigan kritik kuchni aniqlash).	2
8	Ikki oraliqli tutash balkaning oraliq tayanchidagi reaksiyani tajriba yo'li bilan aniqlash	2
9	Turli usullar bilan qattqlikni aniqlash.	2
	Jami	18

VI. Mustaqil ishlar bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar

Ushbu o'quv fani bo'yicha tabaning mustaqil ishi ma'ruzalar matni va tavsiya etilgan adabiyotlar bilan ishlashni tajriba ishlarini o'tashga tayyorgarlik ko'rishni, hisob-grafik ishini mustaqil bajarishni o'z ichiga oladi.

Tavsiya etilgan mustaqil ishlarning mavzulari:

1. Cho'zilish va siqilishga hisoblash.
2. Sterjen ko'ndalang kesim yuzasining geometrik xarakteristikalarini tadqiqot qilish.
3. Buralishga hisoblash.

4. Statik aniq balkani egilishga hisoblash (epyuralar qurish, profil tanlash va ko'chishni topish).
5. Brusni qiya (qiyshiq) egilishga va markaziy qo'yilmagan bo'ylama egilishga hisoblash.
6. Tekis va fazoviy bruslarga umumiy tarzda kuchlar ta'sir qilganda ularni hisoblash (egilish-buralish, egilish-buralish-cho'zilish yoki siqilish).
7. Statik noaniq sistemalar hisobi.
8. Doiraviy plastinalar hisobi.
9. Qalin devorli trubalar hisobi.
10. Ustivorlikka hisoblash.
11. Vaqt bo'yicha siklik o'zgaradigan kuchlanishlarda mustahkamlikka hisoblash.
12. Zarbiy yuklanishda ko'chish va kuchlanishlarni topish.
13. Elastiklik chegarasidan keyingi hisoblar. Hisob-grafik ishlarining hajmi va mazmunini kafedra belgilaydi.

Hisob-grafik ishlari. Talabalar fanni to'liq o'zlashtirishlari uchun, mustaqil masalalar echa olishlarida fikrlash jarayonini shakllantirish va chuqurlashtirish maqsadida hisob-grafik ishlari asosiy dastur amal bo'ladi. Hisob-grafik ishlari dars soatlarini va ta'lim yo'nalishlarini hisobga olgan holda 3 ta torshiriqdan iborat. Har bir talaba uchun alohida variant beriladi. Umuman olganda "Materiallar qarshiligi" fani umummuhandislik fan bo'lib, talabalarga bundan keyin o'rgatiladigan tadbqiqiy fanlar mashinalar va mexanizmlar nazariyasi, mashina detallari va mutaxassislik fanlarini o'rganishda ko'priik vazifasini bajaruvchi fanlar turkumiga kiradi. SHuning uchun ham "Materiallar qarshiligi" fanidan hisob-grafik ishlarini kiritilishi va o'quv jarayoniga tadbqiq etilishi umumiy muhandislik fanlari hamda mutaxassislik fanlarining uzluksizligini ta'minlashga asos soladi.

Hisob-grafik ishlarining taxminiy mavzulari:

1. Cho'zilish va siqilishda statik aniq va noaniq masalalar.
2. Tekis shakllarning geometrik xarakteristikallari.
3. Buralishda mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash.
4. Ko'ndalang egilishda ichki kuch faktorlari epyuralarini qurish.
5. Egilishda deformatsiyalarni hisoblash.
6. Kuch usulida statik noaniq sistemalarni hisoblash.
7. Siqilgan sterjenlarni ustivorlikka hisoblash.

Talabalar semestrda o'tilgan mavzular bo'yicha uchta hisob-grafik ishlarini bajaradilar. Hisob-grafik ishlarining mazmuni kafedra tomonidan ta'lim yo'nalishlariga muvofiq belgilanadi.

Mustaqil ishlari turkumiga kiruvchi hisob-grafik ishlarini bajarish kerakli adabiyotlardan foydalangan va uslubiy ko'rsatmalar asosida bajariladi.

VII. Asosiy va qo'shimcha o'quv adabiyotlar hamda axborot manbalari.

Asosiy adabiyotlar

1. Ferdinand P. Veer., E. Russell Johnston, Jr., John T. De Wolf., David F. Mazurek. Mechanics of materials – USA 2015.-897 p.
2. Набиев А. Материаллар қаршилиги –Т.: Янги аср авлоди. 2008. -379 б.
3. Nabiev A. Xasanov S. Materiallar qarshiligi. Oliy o'quv yurtlari uchun o'quv qo'llanma. –T.: Fan, 2005. -380 b.
4. Xasanov S. M. Materiallar qarshiligidan masalalar echish. –T.: “O'zbekiston milliy ensiklopediyasi” Davlat ilmiy nashriyoti, 2014. -323 b.
5. Qoraboev X. T. Materiallar qarshiligi. –T.: “Fan va texnologiya”, 2007.

Qo'shimcha adabiyotlar

1. Мирзиёев Ш.М. Эркин ва фаровон, демократик Ўзбекистон давлатини биргаликда барпо этишимиз. Президентининг лавозимига киришиш тантанали маросимига бағишланган Олий Мажлис палаталарининг қўшма мажлисидаги нутқи. –Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2016. -56 б.
2. Мирзиёев Ш.М. Қонун устиворлиги ва инсон манфаатларини Ўзбекистон Республикаси Конституцияси қабул қилинганининг 24 йиллигига бағишланган тантанали маросимдаги маъруза 2016 йил 7 декабрь. – Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2016. -48 б.
3. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажакимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга курашимиз. – Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2017. -488 б.
4. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида. Т.: 2017 йил 7 февраль, ПФ-4947-сонли Фармони.
5. Maxkamov T.X., Golovnina V.M. “Materiallar qarshiligi” fanidan tajriba ishlarini bajarish uchun uslubiy ko'rsatma. –T.: ToshDTU, 2006.
6. Maxkamov T.X., Golovnina V.M. “Materiallar qarshiligi” fanidan ichki kuch omillarining epyuralarini qurish bo'yicha uslubiy ko'rsatma. –T.: ToshDTU, 2007.
7. Александров А.Б. и др. “Соппротивление материалов” М.: Высшая школа, 2001. -560 с.

8. Федосьев В.И. “Сопротивление материалов” – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. -592 с.
9. Агамиров Л.В. Сопротивление материалов, -М.: АСТ, Астрель 2003. -255 с.

Internet saytlari

1. WWW.gov.uz – O‘zbekiston Respublikasi hukumat portali.
2. WWW.lex.uz– O‘zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma’lumotlari milliy bazasi.
3. WWW.ilm.uz.
4. WWW.ziyo.net.
5. WWW.Referat.uz

TEXNOLOGIK KARTA

Ma'ruza mavzusi	Dars hajmi	O'quv film va dia film	adabiyotlar №-betlar	Ko'rgaz mali materiallar, plakatlar, №	Laborator iya ishi mavzusi, №
1	2	3	4	5	6
Kirish. Fanning maqsadi va vazifalari. Asosiy gipoteza va prinsiplar. Jism va kuchlarning tasnifi.	2		1.1-bob 5-12 2. 1-bob 4-15 3. 156-162 4. 4-19	1	
Tashqi kuchlar va ularning tasnifi.	2	2	1. 12-22 2. 16-27 3. 118-124 4.4-19	2	
Cho'zilish va siqilish. To'g'ri sterjenning cho'zilishi-siqilishi.	2	3,4	1. 23-30,30-40 2.16-34 3.118-124 4.19-50	3	
Statik noaniq masalalar va ularni echish.	2		1.40-53 2.80-91 3.135-137 4.70-84	4	
Kuchlanish holatlari turlari. Kuchlanish va deformatsiyalanish holatlari nazariyasi.	2		1. 2.60-71 3. 156-162 4.45-50	5	
Tekis kuchlanish holatida ekstremal urinma kuchlanishlarni hisoblash. Mor doirasi.	2		1.100-102 2.107-111 3.48-51		
Tekis kesim yuzalarining geometrik xarakteristikalar.	2	9,10	1.83-86 2.94-105 3.159-163		
Sof siljish. Buralish. To'g'ri brusning buralishi.	2		1.89-108 2.112-146 3.18-27		
Tekis egilish. Normal kuchlanishni hisoblash. Mustahkamlik shartlari.	2		1.108-120 2.147-159 3.33-41		4
Balka egilgan o'qining differensial va universal tenglamalari	2		1.121-129 2.160-171 3.42-49		5
Kuchlanishlarni hisoblashning energetik usullari	2	6	1.151-156 2.212-227 3.88-101		
Statik noaniq sistemalarni kuch usulida hisoblash.	2		1.166-172 2.228-248 3.102-110		
Siqilgan sterjenlarning ustivorligi. Kritik kuchni aniqlash. Eyler formulasidan foydalanish chegarasi.	2		1.183-194 2.249-254 3.172-189 4.198-216		
Yasinskiy formulasi. Uchtivorlikka hisoblashning asta-sekin yaqinlashish usuli	2		1.183-194 2.249-254 3.172-189 4.198-216		

Qiya egilish. Markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilish.	2		1.230-160 2.196-200 3.208-213		
Mustahkamlik nazariyalari.	2	12	1.159-162 2.200-209 3.219-236		
Dinamik kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash.	2	12	1.162-169 2.209-223 3.219-236		
Sikli o'zgaruvchan kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash.	2	13,14	1.189-195 2.237-248 3.240-247		
Jami	36				

II. Modulni o'qitishda foydalaniladigan interfaol ta'lim metodlari

Materiallar qarshiligi fanini o'qitishda yangi pedagogik texnologiyalarni qo'llash natijasida talabalarni o'z ustida mustaqil ishlashini yanada kuchaytirish va takomillashtirishdan iborat. Darsni tashkil etishda semestr boshlanishida har bir talabaga mavzular, o'quv moduli birliklari, aniqlashtirilgan o'quv maqsadlari, tayanch so'z va iboralar, testlar, muammoli (situatsion) masalalar hamda baxolash mezonlari oldindan berib, yangi pedagogik texnologiyalarga (O'qitishning interfaol metodlariga) asoslangan mashg'ulotlar o'tkazishga aloxida e'tibor berish lozim.

“Materiallar qarshiligi” kursini loyihalashtirishda quyidagi asosiy kontseptual yondoshuvlardan foydalaniladi:

SHaxsga yo'naltirilgan ta'lim. Bu ta'lim o'z mohiyatiga ko'ra ta'lim jarayonining barcha ishtirokchilarini to'laqonli rivojlanishlarini ko'zda tutadi. Bu esa ta'limni loyihalashtirilayotganda, albatta, ma'lum bir ta'lim oluvchining shaxsini emas, avvalo, kelgusidagi mutaxassislik faoliyati bilan bog'liq o'qish maqsadlaridan kelib chiqqan holda yondoshilishni nazarda tutadi.

Tizimli yondoshuv. Ta'lim texnologiyasi tizimning barcha belgilarini o'zida mujassam etmog'i lozim: jarayonning mantiqiyliqi, uning barcha bo'g'inlarini o'zaro bog'langanligi, yaxlitligi.

Faoliyatga yo'naltirilgan yondoshuv. SHaxsning jarayonli sifatlarini shakllantirishga, ta'lim oluvchining faoliyatni aktivlashtirish va intensivlashtirish, o'quv jarayonida uning barcha qobiliyati va imkoniyatlari, tashabbuskorligini oshishiga yo'naltirilgan ta'limni ifodalaydi.

Dialogik yondoshuv. Bu yondoshuv o'quv munosabatlarini yaratish zaruriyatini bildiradi. Uning natijasida shaxsning o'z-o'zini faollashtirishi va o'z-o'zini ko'rsata olishi kabi ijodiy faoliyati kuchayadi.

Hamkorlikdagi ta'limni tashkil etish. Demokratik, tenglik, ta'lim beruvchi va ta'lim oluvchi faoliyat mazmunini shakllantirishda va erishilgan natijalarni baholashda birgalikda ishlashni joriy etishga e'tiborni qaratish zarurligini bildiradi.

Muammoli ta'lim. Ta'lim mazmunini muammoli tarzda taqdim qilish orqali ta'lim oluvchi faoliyatini aktivlashtirish usullaridan biri. Bunda ilmiy bilimni ob'ektiv qarama-qarshiligi va uni hal etish usullarini, dialektik mushohadani shakllantirish va

rivojlantirishni, amaliy faoliyatga ularni ijodiy tarzda qo'llashni mustaqil ijodiy faoliyati ta'minlanadi.

Axborotni taqdim qilishning zamonaviy vositalari va usullarini qo'llash - yangi kompyuter va axborot texnologiyalarini o'quv jarayoniga qo'llash.

O'qitishning usullari va texnikasi. Ma'ruza (kirish, mavzuga oid, vizuallash), muammoli ta'lim, keys-stadi, pinbord, paradoks va loyihalash usullari, amaliy ishlar.

O'qitishni tashkil etish shakllari: dialog, polilog, muloqot hamkorlik va o'zaro o'rganishga asoslangan frontal, kollektiv va guruh.

O'qitish vositalari: o'qitishning an'anaviy shakllari (darslik, ma'ruza matni) bilan bir qatorda - kompyuter va axborot texnologiyalari.

Kommunikatsiya usullari: tinglovchilar bilan operativ teskari aloqaga asoslangan bevosita o'zaro munosabatlar.

Teskari aloqa usullari va vositalari: kuzatish, blits-so'rov, oraliq va joriy va yakunlovchi nazorat natijalarini tahlili asosida o'qitish diagnostikasi.

Boshqarish usullari va vositalari: o'quv mashg'uloti bosqichlarini belgilab beruvchi texnologik karta ko'rinishidagi o'quv mashg'ulotlarini rejalashtirish, qo'yilgan maqsadga erishishda o'qituvchi va tinglovchining birgalikdagi harakati, nafaqat auditoriya mashg'ulotlari, balki auditoriyadan tashqari mustaqil ishlarning nazorati.

Monitoring va baholash: o'quv mashg'ulotida ham butun kurs davomida ham o'qitishning natijalarini rejali tarzda kuzatib borish. Kurs oxirida test topshiriqlari yoki yozma ish variantlari yordamida talabalarning bilimlari baholanadi.

Ayrim mavzular bo'yicha talabalar bilimni baholash test asosida va kompyuter yordamida bajariladi. "Internet" tarmog'idagi ma'lumotlardan foydalaniladi, tarqatma materiallar tayyorlanadi, test tizimi hamda tayanch so'z va iboralar asosida oraliq va yakuniy nazoratlar o'tkaziladi.

Ayrim metodlarni quyida keltirib o'tamiz:

"Insert" metodi

Metodning maqsadi: Mazkur metod talabalarda yangi axborotlar tizimini qabul qilish va bilimlarni o'zlashtirilishini yengillashtirish maqsadida qo'llaniladi, shuningdek, bu metod talabalar uchun xotira mashqi vazifasini ham o'taydi.

Metodni amalga oshirish tartibi:

- o'qituvchi mashg'ulotga qadar mavzuning asosiy tushunchalari mazmuni yoritilgan input-matnni tarqatma yoki taqdimot ko'rinishida tayyorlaydi;
- yangi mavzu mohiyatini yorituvchi matn ta'lim oluvchilarga tarqatiladi yoki taqdimot ko'rinishida namoyish etiladi;
- ta'lim oluvchilar individual tarzda matn bilan tanishib chiqib, o'z shaxsiy qarashlarini maxsus belgilar orqali ifodalaydilar. Matn bilan ishlashda talabalarga quyidagi maxsus belgilardan foydalanish tavsiya etiladi:

«V» - tanish ma'lumot, «?» - mazkur ma'lumotni tushunmadim, izoh kerak, «+» bu ma'lumot men uchun yangilik, «- » bu fikr yoki mazkur ma'lumotga qarshiman?. Belgilangan vaqt yakunlangach, ta'lim oluvchilar uchun notanish va tushunarsiz bo'lgan

ma'lumotlar o'qituvchi tomonidan tahlil qilinib, izohlanadi va ularning mohiyati to'liq yoritiladi. Savollarga javob berilib mashg'ulot yakunlanadi.

“Xulosalash” (Rezyume, Veer) metodi

Metodning maqsadi: Bu metod murakkab, ko'p tarmoqli, mumkin qadar, muammoli xarakteridagi mavzularni o'rganishga qaratilgan. Metodning mohiyati shundan iboratki, bunda mavzuning turli tarmoqlari bo'yicha bir xil axborot beriladi va ayni paytda, ularning har biri alohida aspektlarda muhokama etiladi. Masalan, muammo ijobiy va salbiy tomonlari, afzallik, fazilat va kamchiliklari, foyda va zararlari bo'yicha o'rganiladi. Bu interfaol metod tanqidiy, tahliliy, aniq mantiqiy fikrlashni muvaffaqiyatli rivojlantirishga hamda o'quvchilarning mustaqil g'oyalari, fikrlarini yozma va og'zaki shaklda tizimli bayon etish, himoya qilishga imkoniyat yaratadi. «Xulosalash» metodidan ma'ruza mashg'ulotlarida individual va juftliklardagi ish shaklida, amaliy va seminar mashg'ulotlarida kichik guruhlardagi ish shaklida mavzu yuzasidan bilimlarni mustahkamlash, tahlili qilish va taqqoslash maqsadida foydalanish mumkin.

“Keys-stadi” metodi

«**Keys-stadi**» - inglizcha so'z bo'lib, («case» - aniq vaziyat, hodisa, «stadi» - o'rganmoq, tahlil qilmoq) aniq vaziyatlarni o'rganish, tahlil qilish asosida o'qitishni amalga oshirishga qaratilgan metod hisoblanadi. Mazkur metod dastlab 1921 yil Garvard universitetida amaliy vaziyatlardan iqtisodiy boshqaruv fanlarini o'rganishda foydalanish tartibida qo'llanilgan. Keysda ochiq axborotlardan yoki aniq voqea-hodisadan vaziyat sifatida tahlil uchun foydalanish mumkin. Keys harakatlari o'z ichiga quyidagilarni qamrab oladi: Kim (Who), Qachon (When), Qaerda (Where), Nima uchun (Why), Qanday, Qanaqa (How), Nima-natija (What).

Venn Diagrammasi metodi

Metodning maqsadi: Bu metod grafik tasvir orqali o'qitishni tashkil etish shakli bo'lib, u ikkita o'zaro kesishgan aylana tasviri orqali ifodalanadi. Mazkur metod turli tushunchalar, asoslar, tasavvurlarning analiz va sintezini ikki aspekt orqali ko'rib chiqish, ularning umumiy va farqlovchi jihatlarini aniqlash, taqqoslash imkonini beradi.

Metodni amalga oshirish tartibi:

- ishtirokchilar ikki kishidan iborat juftliklarga birlashtiriladilar va ularga ko'rib chiqilayotgan tushuncha yoki asosning o'ziga xos, farqli jihatlarini (yoki aksi) doiralar ichiga yozib chiqish taklif etiladi;

- navbatdagi bosqichda ishtirokchilar to'rt kishidan iborat kichik guruhlariga birlashtiriladi va har bir juftlik o'z tahlili bilan guruh a'zolarini tanishtiradilar;

- juftliklarning tahlili eshitilgach, ular birgalashib, ko'rib chiqilayotgan muammo yohud tushunchalarning umumiy jihatlarini (yoki farqli) izlab topadilar, umumlashtiradilar va doirachalarning kesishgan qismiga yozadilar.

“Blits-o'yin” metodi

Metodning maqsadi: tinglovchilarda tezlik, olgan bilimlar tizimini tahlil qilish, rejalashtirish, prognozlash ko'nikmalarini shakllantirishdan iborat. Mazkur metodni baholash va mustahkamlash maqsadida qo'llash samarali natijalarni beradi.

Metodni amalga oshirish bosqichlari:

1. Dastlab ishtirokchilarga belgilangan mavzu yuzasidan tayyorlangan topshiriq, ya'ni tarqatma materiallarni alohida-alohida beriladi va ulardan materialni sinchiklab o'rganish talab etiladi. SHundan so'ng, ishtirokchilarga to'g'ri javoblar tarqatmadagi «yakka baho» kolonkasiga belgilash kerakligi tushuntiriladi. Bu bosqichda vazifa yakka tartibda bajariladi.

2. Navbatdagi bosqichda trener-o'qituvchi ishtirokchilarga uch kishidan iborat kichik guruhlariga birlashtiradi va guruh a'zolarini o'z fikrlari bilan guruhdoshlarini tanishtirib, bahslashib, bir-biriga ta'sir o'tkazib, o'z fikrlariga ishontirish, kelishgan holda bir to'xtamga kelib, javoblarini «guruh bahosi» bo'limiga raqamlar bilan belgilab chiqishni topshiradi. Bu vazifa uchun 15 daqiqa vaqt beriladi.

3. Barcha kichik guruhlar o'z ishlarini tugatgach, to'g'ri harakatlar ketma-ketligi trener-o'qituvchi tomonidan o'qib eshittiriladi, va o'quvchilardan bu javoblarni «to'g'ri javob» bo'limiga yozish so'raladi.

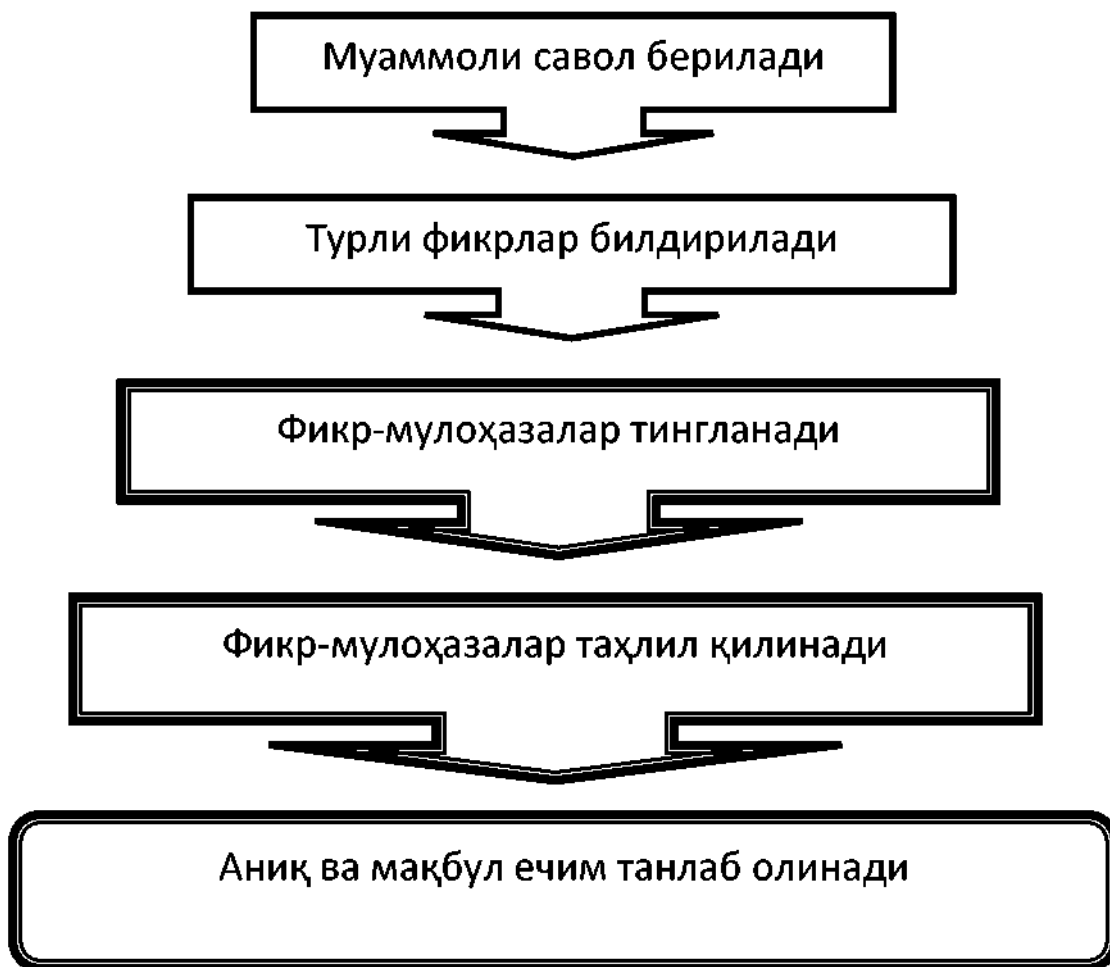
4.«To'g'ri javob» bo'limida berilgan raqamlardan «yakka baho» bo'limida berilgan raqamlar taqqoslanib, farq bulsa «0», mos kelsa «1» ball qo'yish so'raladi. SHundan so'ng «yakka xato» bo'limidagi farqlar yuqoridan pastga qarab qo'shib chiqilib, umumiy yig'indi hisoblanadi.

5. Xuddi shu tartibda «to'g'ri javob» va «guruh bahosi» o'rtasidagi farq chiqariladi va ballar «guruh xatosi» bo'limiga yozib, yuqoridan pastga qarab qo'shiladi va umumiy yig'indi keltirib chiqariladi.

6. Trener-o'qituvchi yakka va guruh xatolarini to'plangan umumiy yig'indi bo'yicha alohida-alohida sharhlab beradi.

7. Ishtirokchilarga olgan baqolariga qarab, ularning mavzu bo'yicha o'zlashtirish darajalari aniqlanadi.

«BAHS-MUNOZARA» metodining tuzilmasi



“Tushunchalar tahlili” metodi

Metodning maqsadi: mazkur metod talabalar yoki qatnashchilarni mavzu buyicha tayanch tushunchalarni o'zlashtirish darajasini aniqlash, o'z bilimlarini mustaqil ravishda tekshirish, baholash, shuningdek, yangi mavzu buyicha dastlabki bilimlar darajasini tashhis qilish maqsadida qo'llaniladi. Metodni amalga oshirish tartibi:

- ishtirokchilar mashg'ulot qoidalari bilan tanishtiriladi;
- o'quvchilarga mavzuga yoki bobga tegishli bo'lgan so'zlar, tushunchalar nomi tushirilgan tarqatmalar beriladi (individual yoki guruhli tartibda);
- o'quvchilar mazkur tushunchalar qanday ma'no anglatishi, qachon, qanday holatlarda qo'llanilishi haqida yozma ma'lumot beradilar;
- belgilangan vaqt yakuniga yetgach o'qituvchi berilgan tushunchalarning tugri va tuliq izohini uqib eshittiradi yoki slayd orqali namoyish etadi;
- har bir ishtirokchi berilgan tugri javoblar bilan uzining shaxsiy munosabatini taqqoslaydi, farqlarini aniqlaydi va o'z bilim darajasini tekshirib, baholaydi.

Guruh bilan ishlash qoidalari

Guruh a'zolarining har biri:

- o'z sheriklarining fikrlarini hurmat qilishlari lozim ;
- berilgan topshiriqlar bo'yicha faol, hamkorlikda va ma'suliyat bilan ishlashlari lozim ;
- o'zlariga yordam kerak bo'lganda so'rashlari mumkin ;
- yordam so'raganlarga ko'mak berishlari lozim;
- guruhni baholash jarayonida ishtirok etishlari lozim;
- "Biz bir kemadamiz , birga cho'kamiz yoki birga qutilamiz" qoidasini yaxshi bilishlari lozim.

"Insertusuli"

Insert – samarali o'qish va fikrlash uchun belgilash ning interfaol tizimi hisoblanib, mustaqil o'qib- o'rganishda yordam beradi . Bunda ma'ruza mavzulari, kitob va boshqa materiallar oldindan talabaga vazifa qilib beriladi . Uni o'qib chiqib , «V; +; -; ?» belgilar orqali o'z fikrini ifodalaydi.

Matnni belgilash tizimi:

(v) – men bilgan narsani tasdiqlaydi .

(+) – yangi ma'lumot.

(-) – men bilgan narsaga zid.

(?) – meni o'ylantirdi. Bu borada menga qo'dhimcha ma'lumot zarur.

Insert jadvali

Tushunchalar	V	+	-	?
Nisbiylik				
Nisbiylik printsiplari				
Nisbiy muvozanat holati				
Inertsia				
Inertsial sanoq sistemasi				
Koriolis tezlanishi				
Koriolis inertsia kuchi				
Vertikal pastga tushayotgan jismga Er aylanishining ta'siri				

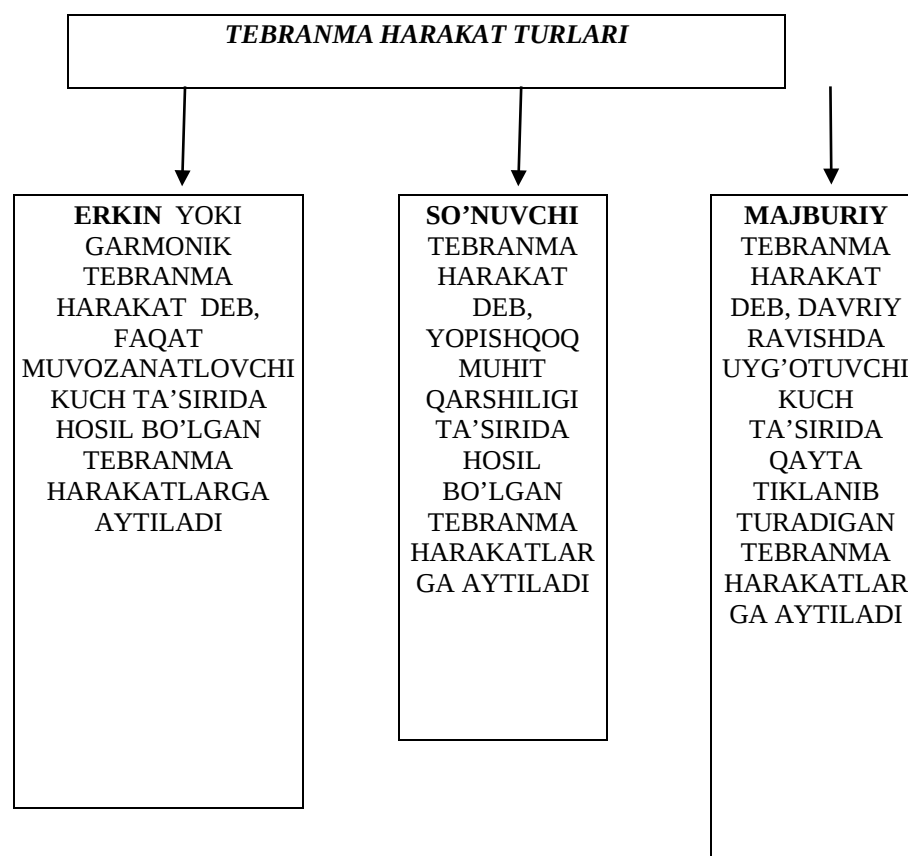
Muammoli vaziyat

1. Muhit qarshilgisiz erkin tebranma harakat

Muammo:. Moddiy nuqtaning eng ko'p uchraydigan harakatlaridan biri, uning to'g'ri chiziq bo'ylab tebranma harakati hisoblanadi. Lekin shu tebranma harakatlarning asosiy parametrlari, ya'ni tebranish chastotasi, tebranish amplitudasi, tebranish davri kabilar nimalarga bog'liq ravishda o'zgarishi, kerak bo'lgan hollarda tegishli chastota va amplitudaga ega bo'lgan tebranishlarni yaratish mumkinmi degan muhim savollarga quyida aniq javoblar olamiz.

"Muammoli vaziyat" jadvalini to'ldiring

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Tebranma harakat deganda nimani tushunasiz ? 2. Tebranma harakat texnikada qayerlarda ishlatiladi ? 3. Nima uchun biz tebranma harakatni o'rganamiz ?		



Muammoli vaziyat

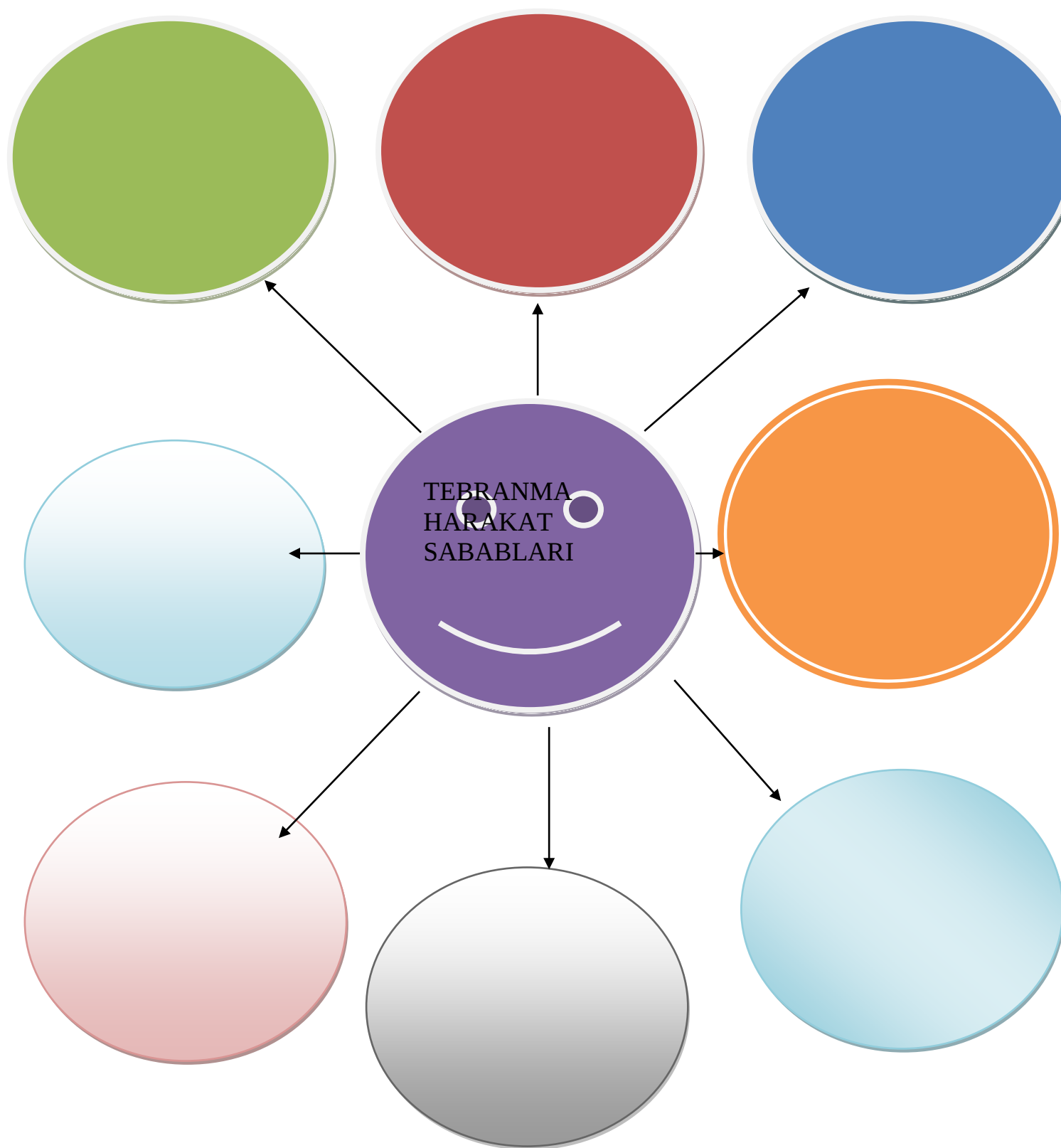
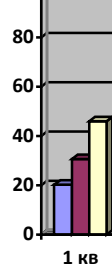
Muammo: Yuqorida ko'rib o'tilgan tebranishlarda muhitning qarshiligi e'tiborga olinmagan edi, shu sababli bunday tebranishlar tabiatda deyarli uchramaydi. Lekin shunga qaramasdan ularni o'rganishning ahamiyati katta. Biz quyida, tabiatda juda ko'p uchraydigan tebranishlar, ya'n muhit qarshiligi ta'siridagi real holatdagi erkin tebranishlarning dinamikasi bilan tanishib o'tamiz.

“Muammoli vaziyat” jadvalini to'ldiring

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Qanday yopishqoq muhitlarni bilasiz va ular harakatga qanday ta'sir qiladi ? 2. Tebranishlarni yoki silkinishlarni qaytaruvchi qanday moslamalarni bilasiz?		

Moddiy nuqta tebranma harakatining sabablariga klaster.

1-topshiriq: Tebranma harakat (vibrasiya-silkinish) hodisalarining sabablariga klaster tuzing.



1-Mavzu. Kirish. Fanning maqsadi va vazifalari. Asosiy gipoteza va prinsiplar. Jism va kuchlarning tasnifi.

Reja:

- 1.1. Materiallar qarshiligi fani haqida asosiy tushunchalar.
- 1.2. Muhandislik tuzilmalari qismlarining hisob sxemalari
- 1.3. Fanda qabul qilingan gipoteza va cheklanishlar

Tayanch soʻz va iboralar:

Fanning vazifalari, mustahkamlik, bikrlilik, ustivorlik. qisqacha tarix. «Nazariy mexanika» bilan ziddiyatlar. Tuzilmalar elementlari: brus, plastinka, qobiq, massiv, sterjen, val, balka, ferma, rama. Gipotezalar: tuzilishning uzluksizligi, bir jinslilik, izotroplik, zoʻriqmaganlik, taʼsirlarning mustaqilligi, Sen-Venan qoidasi.

Muammoli vaziyat, savol yoki topshiriq

Qurilma foydalanish jarayonida xavfsiz ishlashi uchun qanday talablarga javob berishi kerak? Mashina va qurilmalarni foydalanish jarayo-nida mustahkam va ishonchli, shuning bilan birga engil va arzon boʻlish muammosi qanday hal qilinadi?

Jism tashqi kuch taʼsirida deformatsiyalanga-nida, kuch olib tashlanganidan soʻng, yana oʻzining boshlangʻich shakli va oʻlchamlariga ega boʻladimi?

«Materiallar qarshiligi» fani haqida asosiy tushunchalar. Fanning rivojlanish tarixi.

Mashina va inshootlar mustahkam, yaʼni qoʻyilgan yuklar taʼsiriga chidamli boʻlishi, bikr, yaʼni tashqi yuklar taʼsiridan katta deformatsiyalar hosil qilmaydigan boʻlishi, ustivor, yaʼni u oʻzining boshlangʻich elastik ustivor holatini saqlab qoladigan boʻlishi kerak.

Materiallar qarshiligi fani inshoot va mashina qismlarining mustahkamlikka, bikrlikka va ustivorlikka hisoblash asoslarini oʻrgatuvchi fandir.

Materiallar qarshiligi haqidagi dastlabki nazariy ishlarni Galiley (1564-1642) bajargan. U birinchi boʻlib tashqi kuchlar taʼsiriga sterjenlarning qarshilik koʻrsata olishini baholash uchun analitik hisoblashlarni bajarish zarurligi haqidagi masalani qoʻydi.

1676 yilda R. Guk (1635-1703) Choʻzilishda kuch bilan deformatsiya orasidagi proporsional bogʻlanishni aniqladi.

Materiallar qarshiligi masalalarini analitik usullar bilan tekshirishni rivojlantirishda D. Bernulli (1700-1782) va L.Eyler (1707-1783) katta hissa qoʻshdilar.

Sh. Kulon, Ya.Bernulli, T.Yung, O.Koshi, A.Sen-Venan, S.Timoshenko, F.Feodosev, A.Ilyushin, G.Pisarenko, A.Gadolin, D.Juravskiy, X.Golovin, F.Yasinskiy. I. Bubnov va boshqalarning ishlari ham katta ahamiyatga egadir. Oʻzbekistonda fanning rivojlanishiga M.Qoraboev, X.Raxmatulin, K.Mansurov, T.Rashidov, T.Shirinqulov, Q.Abdurashidov va boshqalarning ilmiy izlanishlari, yaratgan kitoblari katta hissa qoʻshdi.

Materiallar qarshiligi fani nazariy mexanika faniga koʻp jihatidan oʻxshab ketadi. Ikkala fan ham konstruksiya elementlariga kuchlarning koʻrsatgan taʼsirini oʻrganadi.

Nazariy mexanikada jismlar absolyut qattiq deb qaraladi.

Materiallar qarshiligi fanida jismlar tashqi kuch ta'sirida o'z geometrik shaklini ma'lum darajada o'zgartiradi deb qaraladi. Jismlarning o'z geometrik shaklini o'zgartirishiga - deformatsiya deyiladi. SHu bilan ikki fan bir-biridan farq qiladi.

Deformatsiyalar ikki xil bo'ladi:

1. Elastik deformatsiya
2. Plastik deformatsiya

Jismda tashqi kuchlardan hosil bo'lgan deformatsiya jism kuchdan ozod qilingach dastlabki vaziyatiga to'laligicha qaytsa elastik deformatsiya, aks holda plastik yoki qoldiq deformatsiya deyiladi.

Muhandislik tuzilmalari qismlarining hisob sxemalari

Muammoli vaziyat, savol yoki topshiriq

Kundalik turmushingizda yon atrofingizdagi inshootlar, qurilmalar, mashina-mexanizmlarda geometrik jihatdan o'xshash elementlarni ajratganmisiz?

Muhandislik amaliyotida uchraydigan konstruksiya turlari xilma-xil va murakkabdir. SHunga qaramasdan ularning elementlarini bir necha oddiy ko'rinishlardagi shakllarga keltirish mumkin.

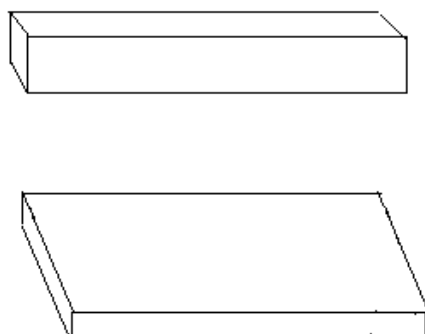
1. Brus yoki sterjen - ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunlik o'lchamiga nisbatan juda kichik bo'lgan elementga aytiladi. Mashinalar, qurilmalarda to'g'ri chiziqli, egri chiziqli, prizmatik hamda o'zgaruvchan kesimli sterjenlar uchraydi (1-shakl,a). Ularga misol qilib vallarni, balkalarni, yuk ko'taruvchi ilgaklarni, zanjirlar xalqalri va hokazolarni ko'rsatish mumkin.

Devorining qalinligi ko'ndalang kesim o'lchamlariga nisbatan juda kichik bo'lgan sterjenlar yupqa devorli sterjenlar deb ataladi. Hozirgi vaqtda ular qurilish, aviasozlik, kemasozlikda keng qo'llaniladi.

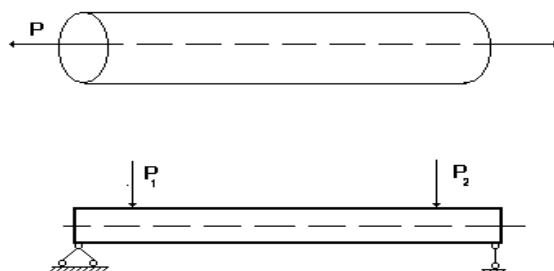
2. Plastinka yoki plita - qalinligi qolgan o'lchamlariga nisbatan sezilarli darajada kichik bo'lgan elementga aytiladi. Qalinligini ikkita teng qismga bo'luvchi sirt o'rta sirt deb ataladi. Ularga misol qilib rezervuarlar qopqoqlari va tagini, binolar ora va tom yopma plitalarini ko'rsatish mumkin. O'rta sirt egri chiziqli bo'lsa bu shakl qobiq deb ataladi. O'rta sirt shakliga qarab qobiqlar silindrsimon, konussimon, sferasimon va o'. turlanadi. Yupqa devorli rezervuarlar, qozonlar devorlari, uchar apparatlarning qanotlari, fyuzellyajlari, suv osti kemalarning korpuslari ularga misol bo'ladi.

3. Massiv - uchta o'lchami bir-biridan sezilarli darajada farq qilmaydigan elementga aytiladi.

Masalan: bino va inshootlar poydevorlari, tirgak devorlar va h.



1-shakl



2-shakl

1.3. Materiallar qarshiligida qabul qilingan asosiy gipoteza va cheklanishlar

Muammoli vaziyat, savol yoki topshiriq

Sizga fizika kursidan ma'lumki barcha materiallar atomistik tuzilishga ega. Materiallar qarshiligi fanida bu qonuniyatdan chetlanishning sababi nimada deb o'ylaysiz?

Har bir fanni o'rganishdan oldin bir necha cheklanishlarga (gipotezalarga) amal qilinadi. Materiallar qarshiligini o'rganishda ham quyidagi cheklanishlarga amal qilinadi.

1. Jism materiali sof elastik deb qaraladi, ya'ni tashqi kuchning ta'siri olingandan so'ng u o'zining dastlabki holatiga to'laligicha qaytadi. Materiallar qarshiligining juda ko'p masalalarida materiallar chiziqli deformatsiyalanadi, ya'ni Guk qonuniga bo'ysinadi deb qaraladi.

2. Jismning materiali yaxlit (g'ovaksiz) deb hisoblanadi.

Bu gipoteza mayda zarrachali jismlar uchun juda qo'l keladi. YOg'och, beton, tosh va g'isht uchun juda ham to'g'ri kelmasada, ammo hisob natijalari bu xildagi materiallar uchun ham haqiqatga yaqin keladi. Bu gipoteza real materiallar uchun matematik analizning uzluksiz funksiya formulalarini ishlatishga asos bo'ladi.

3. Jism materiali bir jinsli va izotrop bo'ladi, ya'ni material har bir nuqtada, har bir yo'nalishda bir xil xususiyatga ega deb hisoblanadi. Metall bir jinsli materiallardan bo'lib, beton, tosh va g'ishtning bir jinsli xususiyati kamroqdir.

4. Jism yuklanishdan oldin unda boshlang'ich zo'riqish kuchlari bo'lmaydi deb faraz qilinadi. Darhaqiqat po'lat detallarning notekis sovushi, yog'ochning notekis qurishi yoki betonning notekis qotishi natijasida ularda boshlang'ich zo'riqish kuchlari paydo bo'ladi. Bu boshlang'ich zo'riqish kuchlari, umuman bizga noma'lum, biroq ularning miqdori tashqi yuklar ta'siridan jismda hosil bo'ladigan qo'zg'aluvchi zo'riqish kuchlari miqdoriga qaraganda juda kichik bo'ladi.

5. Kuchlarning ta'sirining mustaqillik prinsipi. Bu prinsipga ko'ra kuchlar sistemasi ta'sirining natijasida bu kuchlarni yo ketma-ket yoki tartibsiz qo'yilishidan hosil bo'ladigan ta'sirlar natijasi teng deb faraz qilinadi.

6. Sen-Venan prinsipi. Jismga qo'yilgan kuchning ta'sir nuqtasidan etarlicha uzoqda joylashgan nuqtalarda hosil bo'ladigan ichki kuchlar xarakteri, tashqi kuchning ta'sir xarakteriga bog'liq emas.

7. Tekis kesimlar gipotezasi. Agar jisnning ko'ndalang kesim yuzasi deformatsiyagacha tekis bo'lsa, deformatsiyadan keyin ham tekisligicha qoladi.

Yuqorida keltirilgan gipoteza va cheklanishlar mustahkamlik, bikrlilik va ustivorlikka hisoblashga doir masalalarni yechish imkonini beradi. Olingan natijalarning amaliyot bilan mutanosibli aniqlangan.

Nazorat savollari:

1. «Materiallar qarshiligi» fani nimalarni o'rganadi?
2. Mustahkamlik, bikrlilik va ustivorlik tushunchalari haqida so'zlang.
3. Fanning qiqacha tarixini gapirib bering.
4. «Materiallar qarshiligi» va «Nazariy mexanika» fanlarining yondoshishlarida qanday nomutanosibliklar mavjud?
5. Qurilmalarning asosiy elementlari tushuncha bering.
6. Fanning asosiy gipoteza va cheklanishlari nimalardan iborat?
7. Jismning deformatsiyasi nima?
8. Deformatsiyalarning qanday turlarini bilasiz?

2-Mavzu. Tashqi kuchlar va ularning tasnifi.

Reja:

- 2.1. Kuchlar va ularning turlari.
- 2.2. Ichki kuchlar
- 2.3. Kuchlanishlar

Tayanch so'z va iboralar

Tashqi kuch: hajmiy, sirtqi, to'plangan, taqsimlangan, jadallik (intensivlik), statik, dinamik, doimiy, vaqtinchalik, siklli.

Deformatsiya: chiziqli, burchak, elastik, plastik.

Birlamchi ichki kuchlar, ichki zo'riqish kuchlari: kesish usuli, normal kuch, ko'ndalang kuch, burovchi moment, eguvchi moment.

Kuchlanish: o'rtacha, haqiqiy, normal, urinma, to'la, paskal, indekslar, fizik ma'no; ichki kuch faktorlari va kuchlanishning bog'liqligi.

Muammoli vaziyat, savol yoki topshiriq

Ikki jismning bir-biriga ta'sirini qanday ifodalaysiz?

Tashqi kuchlar deb qurilma elementining u bilan bog'liq jismlar bilan o'zaro bog'lanish kuchlariga aytiladi.

Kuchlar ikki xil bo'ladi:

1. Tashqi kuchlar.
2. Ichki kuchlar.

Tashqi kuchlar ikki gruppaga bo'linadi:

1. Sirtqi kuchlar.
2. Hajmiy kuchlar.

Jismga qo'shni ikkinchi jismdan o'tadigan kuchlar sirtqi kuchlar deyiladi. Jismning barcha ichki nuqtalariga ta'sir qiladigan kuchlar hajmiy kuchlar deyiladi. Masalan, harakatlanayotgan jismda hosil bo'lgan inersiya kuchlari ana shunday kuchlardir.

Sirtqi kuchlar:

- 1) to'plangan kuchlar;
- 2) yoyilgan kuchlar.

Jismning o'z o'lchamiga nisbatan juda kichik sirtiga ta'sir qiluvchi kuchlar to'plangan kuchlar deyiladi.

Sirtqi kuchlar jism butun yuzasiga yoki uning biror qismiga ta'sir etishi mumkin. Masalan: dvigatel silindrida gaz bosimi, shamol yoki qor bosimlari.

Jism sirtidagi yuzaning biror qismiga ta'sir qilgan kuchlar yoyilgan kuchlar deyiladi. Yoyilgan kuchlar yuk intensivligi, ya'ni jismning yuza yoki uzunlik birligiga to'g'ri kelgan miqdori bilan xarakterlanadi. Yuza bo'yicha taqsimlangan yuklar n/m^2 , Pa, MPa bilan, uzunlik bo'yicha taqsimlangan yuklar esa n/m , kn/m, Mn/m, ... bilan o'lchanadi.

Yukning o'zgarish xarakteri odatda epyura (grafik) ko'rinishda beriladi.

Yuk tekis tarqalganida uning epyurasi (grafik) ko'rinishda beriladi.

Yuk tekis tarqalganida uning epyurasi to'g'ri burchakli ko'rinishda bo'ladi.

Gidrostatik bosim holatida yuk intensivligi uchburchak ko'rinishida bo'ladi.

Tarqalgan kuch teng ta'sir etuvchisi uning epyurasining yuzasiga teng bo'lib og'irlik markaziga qo'yilgan bo'ladi.

Kuchlar konstruksiya qismlariga vaqt mobaynida ta'sir etishi bo'yicha:

1. Statik.
 2. Dinamik.
- turlariga bo'linadi.

O'zining eng katta qiymatiga sekin-astalik bilan erishuvchi kuchga statik kuch deyiladi.

O'zining eng katta qiymatiga tez vaqt ichida erishuvchi kuchga dinamik kuch deyiladi.

Har bir fanni o'rganishdan oldin bir necha cheklanishlarga (gipotezalarga) amal qilinadi. Materiallar qarshiligini o'rganishda ham quyidagi cheklanishlarga amal qilinadi.

1. Jismning materiali yaxlit (g'ovaksiz) deb hisoblanadi.

Bu gipoteza mayda zarrachali jismlar uchun juda qo'l keladi. Yog'och, beton, tosh va g'isht uchun juda ham to'g'ri kelmasada, ammo hisob natijalari bu xildagi materiallar uchun ham haqiqatga yaqin keladi. Bu gipoteza real materiallar uchun matematik analizning uzluksiz funksiya formulalarini ishlatishga asos bo'ladi.

2. Jism materiali bir jinsli va izotrop bo'ladi, ya'ni material har bir nuqtada, har bir yo'nalishda bir xil xususiyatga ega deb hisoblanadi. Metall bir jinsli materiallardan bo'lib, beton, tosh va g'ishtning bir jinsli xususiyati kamroqdir.

3. Jism yuklanishdan oldin unda boshlanqich zo'riqish kuchlari bo'lmaydi deb faraz qilinadi. Darhaqiqat po'lat detallarning notekis sovushi, yog'ochning notekis qurishi yoki betonning notekis qotishi natijasida ularda boshlang'ich zo'riqish kuchlari paydo bo'ladi. Bu boshlang'ich zo'riqish kuchlari, umuman bizga noma'lum, biroq ularning miqdori tashqi yuklar ta'siridan jismda hosil bo'ladigan qo'zg'aluvchi zo'riqish kuchlari miqdoriga qaraganda juda kichik bo'ladi.

4. Kuchlarning ta'sirining mustaqillik prinsipi. Bu prinsipga ko'ra kuchlarni ketma-ket yoki tartibsiz qo'yilishidan hosil bo'ladigan ta'sirlar natijasi teng deb faraz qilinadi.

5. Sen-Venan prinsipi. jismga qo'yilgan kuchning ta'sir nuqtasidan etarlicha uzoqda joylashgan nuqtalarda hosil bo'ladigan ichki kuchlar xarakteri, tashqi kuchning ta'sir xarakteriga bog'liq emas.

6. Tekis kesimlar gipotezasi. agar jismning ko'ndalang kesim yuzasi deformatsiyagacha tekis bo'lsa, deformatsiyadan keyin ham tekisligicha

ICHKI KUHLAR

Muammoli vaziyat, savol yoki topshiriq

Ta'sirning aks ta'sirga tengligini ta'riflovchi Nyutonning uchinchi qonunini ichki kuchlarni aniqlashda qanday ahamiyati ega?

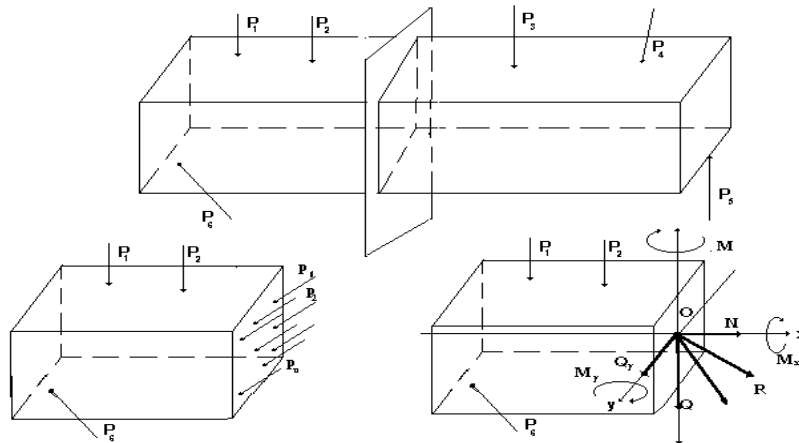
Ma'lumki tashqi kuchlar jism zarralari orasidagi masofani o'zgartirishga yo'naltiriladi. Bunday holatda jism qanday qarshilik ko'rsatadi?

Jismning qo'shni zarralari (kristallar, atomlar, molekulalar) orasida doimo ma'lum bir bog'lanish - ichki kuchlar mavjud va ular jismni yaxlit saqlashga intiladi. Tashqi kuchlar esa aksincha, zarralar orasidagi masofani o'zgartirishga, jismni deformatsiyalashga intiladi. Shu sababli yuklangan va yuklanmagan jismda qandaydir ikki zarra orasida ichki kuchlar miqdori turlicha bo'ladi.

Materiallar qarshiligi fanida tabiiy (yuklanmagan) holatda jismdagi ichki kuchlar e'tiborga olinmaydi, uning yuklanishi natijasida hosil bo'luvchi qo'shimcha ichki kuchlar hisoblanadi va o'rganiladi. Ichki kuchlarni odatda zo'riqishlar deb ataladi.

Brus kesimida hosil bo'ladigan ichki kuchlar teng ta'sir etuvchisini topish uchun kesimlar usulidan foydalaniladi.

Brusga qo'yilgan kuchlar sistemasi R_1, R_2, R_3, R_4 ta'sirida brusda R_5, R_6 reaksiya kuchlari hosil bo'ladi, buning natijasida brus muvozanatda bo'ladi.



3-shakl

Brusning biror kesimidagi ichki kuchlarni topish uchun quyidagi ishlar bajariladi:

1) Brusning biror nuqtasidagi zo'riqish kuchini topish uchun, brusning shu nuqtasidan o'tuvchi V tekislik bilan fikran kesib, ikkita A va B qismlarga ajratiladi. Bu holda kesimning o'zi jismning A va B qismlariga tegishli ikki betdan iborat bo'lib, ularning har bir nuqtasiga o'zaro bog'lanish kuchlari ta'sir etadi. Materialning yaxlitligi haqidagi gipotezaga asosan ichki kuchlar o'tkazilgan kesimning barcha zarrasiga ta'sir etib, tarqalgan kuch ko'rinishida bo'ladi. Jism shakliga va tashqi ko'rinishiga qarab ichki kuchlar intensivligi turli nuqtalarda turlicha bo'ladi.

2) Ajratilgan kesimlardan biri, masalan, B qism tashlab yuborilib, A qism qoldiriladi; bunda A qismning muvozanati buziladi. Nyutonning uchinchi qonuniga asosan jismning A qismiga tegishli kesim bo'ylab ta'sir etuvchi ichki kuchlarga teng bo'lib teskari yo'nalishga ega bo'ladi.

3) Tashlab yuborilgan qismning qolgan qismga ta'sirini bosh vektor va bosh moment bilan almashtiramiz. Bosh vektorni N, Q_y, Q_z -larga, bosh momentni esa M_x, M_y, M_z -tashkil etuvchilarga ajratamiz.

Bu erda N -bo'ylama kuch, Q_y, Q_z - y va z o'qlari bo'yicha yo'nalgan kesuvchi kuchlar, M_x - burovchi moment, M_y, M_z - u va z o'qlari bo'yicha yo'nalgan eguvchi momentlar. Bu ichki kuchlar va momentlarni topish uchun quyidagi qoidalarga amal qilinadi.

N - bo'ylama kuch, kesimning o'ng yoki chap tomoniga joylashgan barcha tashqi kuchlarning brus o'qiga proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng.

Q_y, Q_z -kesuvchi yoki ko'ndalang kuchlar, kesimning o'ng yoki chap tomonidagi barcha tashqi kuchlarning mos ravishda u va z o'qlaridagi proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng.

M_x yoki M_b - burovchi moment, M_y , M_z - eguvchi momentlar mos ravishda kesimning o'ng yoki chap tomonidagi tashqi momentlarning x, y va z o'qlariga nisbatan momentlarining algebraik yig'indisiga teng.

2.2. KUHLANISHLAR.

Muammoli vaziyat, savol yoki topshiriq

Ko'ndalang kesim shakli bir xil, ammo yuzasi har xil sterjenlarning kesimlaridagi zo'riqish kuchlari teng bo'lsada mustahkamligi turlicha bo'ladi. Buning sababini izoxlab bering.

Biror kesimning ma'lum nuqtasidagi ichki kuch intensivligining o'lchovini bilish maqsadida kuchlanish tushunchasi kiritiladi. Kesimning biror nuqtasida elementar yuzacha ΔF ajratamiz; bu yuzachaga ta'sir qilgan ichki kuchlarning teng ta'sir etuvchisi ΔR bo'lsin. Bu ichki kuchning ajratilgan elementar yuzacha yuziga nisbati o'rtacha kuchlanish deyiladi va $p_{o'r}$ -bilan belgilanadi, uning qiymati (4 - shakl) quyidagi formuladan topiladi:

$$p_{o'r} = \Delta R / \Delta F$$

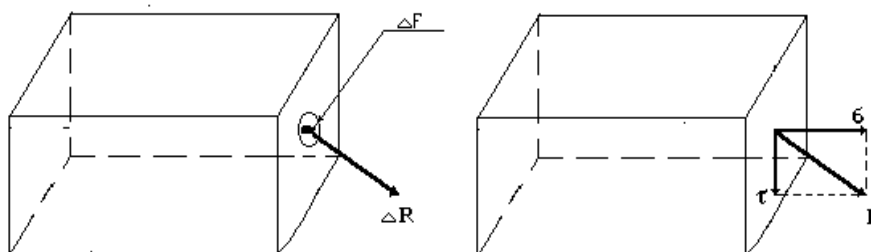
Ajratilgan elementar yuzacha (ΔF) nolga intilganda shu nuqtasida kuchlanish haqiqiy kuchlanish deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi.

$$p = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \Delta R / \Delta F$$

Tekshirilayotgan kesimning ayni nuqtasidagi kuchlanish vektor miqdordir, bu vektorning yo'nalishi $\Delta F \rightarrow 0$ dagi ΔR -ning chekli yo'nalishiga to'g'ri keladi. Kuchlanish ichki kuchning yuzaga nisbati bo'lganligidan, u odatda n/m^2 bilan o'lchanadi. Demak, kuchlanish kesim yuzasi birligiga to'g'ri kelgan ichki kuchdir.

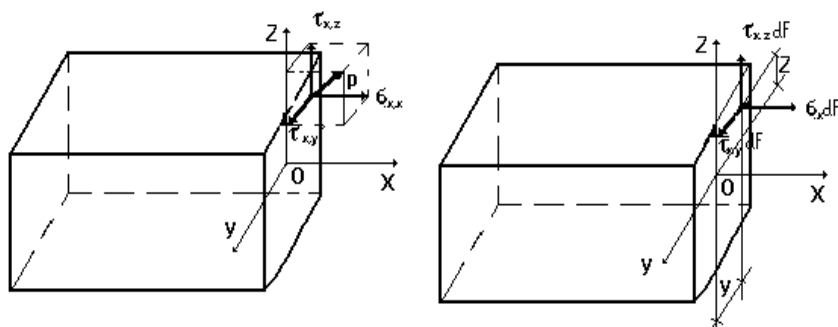
Kesimning biror nuqtasiga ta'sir qilayotgan kuchlanish r -ni kesim yuzaga tik va parallel yo'nalgan ikkita tuzuvchiga ajratamiz (4-shakl).

Bu tuzuvchilarning birinchisini normal kuchlanish, ikkinchisini urinma kuchlanish deyiladi. Normal kuchlanish σ -bilan, urinma kuchlanish τ - harflari bilan belgilanadi.



4-shakl

Bu uchala kuchlanish orasida quyidagicha bog'lanish hosil bo'ladi. $p = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
Endi brusning ko'ndalang kesimidagi kuch faktorlari bilan kuchlanish orasidagi munosabatlarni tuzamiz:



5-shakl

$\sigma_x, \tau_{xy}, \tau_{xz}$ kuchlanishlarni elementar yuzacha dF miqdoriga ko'paytirib elementar ichki kuchlarni topamiz (5 - shakl);

$$dN_x = \sigma_x dF$$

$$dQ_x = \tau_{xy} dF$$

$$dQ_y = \tau_{xz} dF$$

Bu elementar ichki kuchlarni brusning ko'ndalang kesim yuzi bo'yicha yig'ib, bosh vektorning tuzuvchilari uchun quyidagi formulalarni chiqaramiz:

$$N_x = \int \sigma_x dF \quad Q_x = \int \tau_{xy} dF \quad Q_y = \int \tau_{xz} dF$$

Har qaysi elementar ichki kuchni tegishli o'qlargacha bo'lgan masofalarga ko'paytirib, ularning elementar momentlarini topamiz:

$$dM_x = \tau_{xy} dF \cdot z + \tau_{xz} dF \cdot y$$

$$dM_y = \sigma_x dF \cdot z$$

$$dM_z = \sigma_x dF \cdot y$$

Bu elementar momentlarni ko'ndalang kesim yuzi bo'yicha yig'ib bosh moment tuzuvchilarini topamiz:

$$dM_x = \int_F (\tau_{xy} \cdot z + \tau_{xz} \cdot y) dF \quad dM_y = \int_F \sigma_x dF \cdot z \quad dM_z = \int_F \sigma_x dF \cdot y$$

Bu formulalar yordamida ichki kuch faktorlari ma'lum bo'lganda kuchlarni topish mumkin.

Nazorat savollari:

1. Sirtqi va o'ajmiy kuchlar bir – birlaridan nima bilan farqlanadilar? Sirtqi kuchlarning qanday turlarini bilasiz?
2. To'plangan kuch va moment nima?
3. Taqsimlangan kuchlarning qanday turlarini bilasiz? Taqsimlangan kuchning intensivligi nima?
4. Ichki zo'riqish turlarini ta'riflang.
5. Kesish usulining moo'iyati nimada?
6. Ichki kuch omillarining qanday turlarini bilasiz?
7. Oddiy deformatsiya turlarining ichki kuch omillari turlari bilan bog'liqligi nimada?

8. Kuchlanish nima? Uning turlarini ayting. Ular kesimga nisbatan qanday yo'naladilar?

9. To'la kuchlanish vektori tuzuvchilarining ma'nosini tushuntirib bering.

10. To'la kuchlanishni normal va urinma kuchlanishlarga ajratishning fizik ma'nosi nimada?

11. Brus ko'ndalang kesimidagi ichki kuch faktorlari bilan kuchlanishlar orasida qanday bog'lanishlar mavjud?

3--Mavzu. Cho'zilish va siqilish. To'g'ri sterjenning cho'zilishi-siqilishi.

Reja:

3.1. Cho'zilish – siqilish deformatsiyasida ichki kuch faktorlari epyurasini qurish.

Tayanch so'z va iboralar

Bo'ylama kuch, qiymati, ishorasi, epyurasi, «sakrash».

Epyura, kesish usuli, kattaligi, ishorasi, tekshirish.

Kesish usuli.

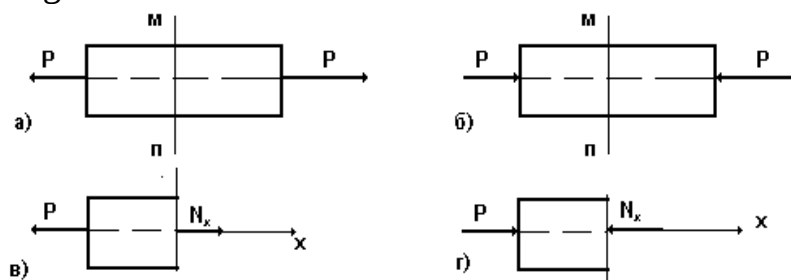
Muammoli vaziyat savol yoki topshiriq

Ko'ndalang kesim yuzalari bir-xil bo'lgan cho'zilayotgan brusning paski qismiga 20 kN kuch tasir etadi. Brusning emirilishi qaysi kesimda sodir bo'ladi? Nima uchun?

SHaklda ko'rsatilgan brus materiali 2 xil variantda po'lat va cho'yandan tayorlangan bo'lsa qaysi birida (3.1 d- shakl) zo'riqishning qiymati katta bo'ladi?

3.1. Cho'zilish-siqilish deformatsiyasida ichki kuch faktorlari epyurasini qurish

Cho'zilgan va siqilgan bruslarning ko'ndalang kesimlarida faqat zo'riqish kuchlari N_x hosil bo'ladi. Cho'zilgan yoki siqilgan brusning eng oddiy holi quyidagi shaklda ko'rsatilgan.



6-shakl

Ularning ixtiyoriy mn kesimida bo'ylama zo'riqish kuchlari N_x kesish metodi bilan topilgan. Cho'zuvchi bo'ylama kuchlarni kesimdan tashqariga yo'naltirish, siquvchi kuchni esa kesim ichiga yo'naltirish qabul qilingan. Bo'ylama kuchning ta'rifini quyidagicha berishimiz mumkin. Bo'ylama kuch deb brusning ko'ndalang kesimida xosil bo'lgan normal kuchlanishlarning teng ta'sir etuvchisiga aytiladi. Bu ta'rifning matematik ifodasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$N_x = \int \sigma dF$$

Agar brusning har qaysi kundalangkesimida xosil bo'ladigan bo'ylama kuchlarning qiymatlari turlicha bo'lsa ularning brus o'qi bo'yicha o'zgarish qonunini ko'rsatuvchi grafik bo'ylama kuch epyurasi deyiladi.

Brusning mustahkamligi tekshirilganda epyuradan maksimal bo'ylama kuch $N_{\max}$ olinadi.

Bundan buyon brus termini o'rnida sterjen terminini ishlatib boramiz. Brusning ko'ndalang kesimida faqat normal kuchlanishlar xosil bo'ladi. Normal kuchlanishlarni aniqlash uchun ularni sterjen ko'ndalang kesimi bo'yicha taqsimlanish qonuniyatini bilish lozim. Bu masalani Ya.Bernulli gipotezasiga asoslanadi: sterjenning deformatsiyagacha bo'lgan tekis va sterjen o'qiga tik bo'lgan kesimlari deformatsiyadan keyin ham tekis va sterjen o'qiga tikligicha qoladi.

Normal kuchlanishlarni topish uchun kesish metodidan foydalanamiz, ya'ni sterjenni kuchlanishi aniqlanadigan nuqtadan sterjen o'qiga tik tekislik bilan kesib, pastki qismini qoldiramiz. Qolgan qismining muvozanat tenglamasini yozamiz.

$$\sum X = N_x - P = 0 \quad N_x = P$$

Bu tenglamadagi N_x qiymatini quyidagi formuladan aniqlaymiz.

$$N_x = \int_F \sigma dF = \sigma \int_F dF = \sigma F$$

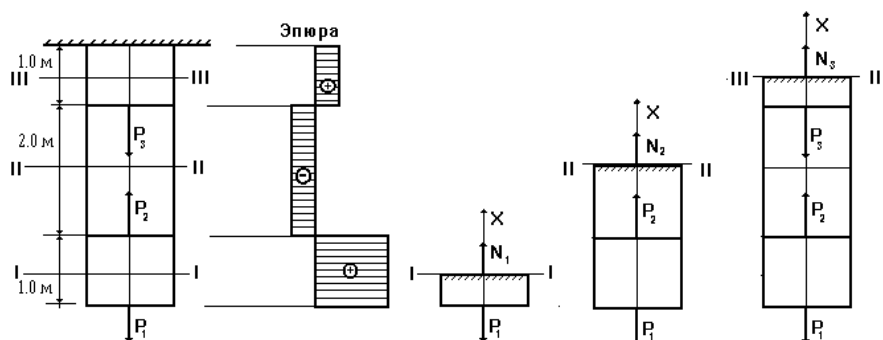
Biz tekshirayotgan hol uchun σ o'zgarmas miqdor bo'lganligi sababli u integral belgisidan tashqariga chiqariladi, demak

$$\sigma F - P = 0, \quad \text{bundan} \quad \sigma = P/F \quad (\text{n/m}^2)$$

Agar sterjenning o'qi bo'ylab bir necha tashqi kuch ta'sir ettirilsa u holda yuqoridagi formulaning suratidagi P kuch o'rniga sterjenning kuchlanishi topiladigan ko'ndalang kesimidagi bo'ylama kuch qo'yiladi

$$\sigma = N_x / F$$

kuchlanishning o'lchami uchun ilgari aytganimizdek MKGSS sistemasida kuchni yuzaga nisbati kg/cm^2 , kg/mm^2 , t/m^2 qilinadi. Bu o'lchamlar SI sistemasida quyidagi ko'rinishdadir: $\text{n/sm}^2 = 10^{-1} \text{ Mn/m}^2$, n/m^2



7 - shakl

Nazorat savollari:

1. **Markaziy Cho'zilish yoki siqilish qaysi holda hosil bo'ladi?**
2. **Cho'zilgan va siqilgan sterjenlarning ko'ndalang kesimdagi bo'ylama kuchlar qanday topiladi?**
3. Bo'ylama kuchning epyurasi nima va u qanday chiziladi?
Bo'ylama kuch bilan normal kuch orasidagi bog'lanishni yozing?

To'g'ri prizmatik sterjenlarning cho'zilishi va siqilishi. CHo'zilish va siqilish haqida tushuncha.

Reja:

1. Bo'ylama va ko'ndalang deformatsiya
2. Cho'zilish va siqilish uchun Guk qonuni.
3. Bikrlik.
4. Ko'chishlar va ularning epyuralari.
5. Potensial energiya.

Tayanch so'z iboralar:

Bo'ylama deformatsiya, ko'ndalang deformatsiya, bikrlik, nisbiy deformatsiyalar, Puasson koefitsienti, ko'chishlar, ko'chish epyurasi, potensial energiya, solishtirma potensial energiya.

Muammoli vaziyat, savol va topshiriq

Elastik deformatsiyalar chegarasida cho'zilgan rezina namunaning ko'ndalang o'lchamlari bo'ylama o'lchamiga nisbatan 2 baravar kam miqdorga kamayadi. Xuddi shu miqdorga cho'zilgan po'lat namunaning ko'ndalang o'lchamlari qanday o'zgaradi?

Po'lat sim kichik miqdordagi takroriy egilish deformatsiyalaridan so'ng o'zining boshlang'ich holatiga qaytadi. Agar takroriy eguvchi kuch miqdori oshirilsa sim qiziydi va o'zining boshlang'ich holatiga qaytmaydi. Buning sababi nimada deb hisoblaysiz?

Alyuminiy, cho'yan va yog'och materiallardan tayyorlangan namunalar siqilishga sinalganida birinchisi yapaloq holatga kelguncha cheksiz deformatsiyalansa, ikkinchisi chekli deformatsiyalardan so'ng «bochkasimon» ko'rinishda 45° qiyalikdagi tekislik bo'yicha emiriladi, uchinchisida esa juda kichik deformatsiyalarda darz paydo bo'ladi. Bu o'odisalarni qanday izoo'laysiz?

Elastik deformatsiyalar chegarasida deformatsiyalangan jism kuch olib tashlangandan so'ng o'zini boshlang'ich holatiga nima hisobiga qaytadi?

Sterjenning deformatsiyagacha bo'lgan uzunligini l bilan deformatsiyadan keyingi uzunligini l_1 bilan belgilaymiz. Sterjen uzunligining ortishi absolyut Cho'zilish deb, kamayishi esa absolyut qisqarish deb aytiladi. Umuman olganda ularning har ikkalasi absolyut deformatsiya deyiladi. Absolyut Cho'zilishning qiymati quyidagicha topiladi.

$$\Delta l = l_1 - l$$

Absolyut deformatsiya uzunlik o'lchov birligida o'lchanadi.

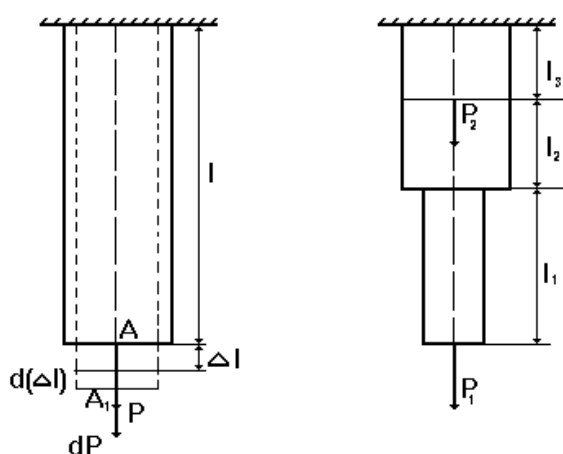
Sterjen birligiga to'g'ri kelgan absolyut bo'ylama deformatsiya nisbiy bo'ylama deformatsiya deyiladi va ε bilan belgilanadi

$$\varepsilon = \Delta l / l$$

Nisbiy bo'ylama deformatsiya o'lchamsiz kattalik. Agar sterjenning Cho'zilishi faqat elastik deformatsiya chegarasida qaralsa, cho'zuvchi kuch bilan absolyut Cho'zilish orasida to'g'ri proporsionallik bog'lanish borligini tajribada ko'rish qiyin emas. Bu bog'lanishni ingliz fizigi R. Guk topgan edi.

$$\Delta l = Pl / EF$$

Bu formuladan ko'rinadiki, absolyut Cho'zilish cho'zuvchi kuch bilan sterjen uzunligiga to'g'ri proporsional va sterjenning Cho'zilishdagi bikrligiga teskari proporsionaldir. Bu formula faqat tajriba natijasida hosil bo'lgan. EF-sterjenning Cho'zilish yoki siqilishdagi bikrligi. F- sterjen ko'ndalang kesim yuzasi, E-proporsionallik koeffitsienti. Bu koeffitsientga birinchi tur elastiklik moduli deyiladi. Elastiklik moduli materialning Cho'zilish yoki siqilishga



8-shakl

qarshilik ko'rsata olish xususiyatini bildiradi va kuchlanish o'lchov birligida $\frac{H}{M^2}$ ifodalanadi.

$\sigma = E\varepsilon$ Bu formula Guk qonunining ikkinchi ko'rinishi bo'lib, u amaliyotda juda ko'p ishlatiladi va quyidagicha o'qiladi.

Sterjenlardagi normal kuchlanish nisbiy deformatsiyaga to'g'ri proporsional.

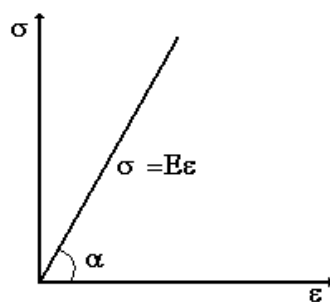
Bu bog'lanish koordinatalar sistemasida og'ma to'g'ri chiziq bilan ko'rsatilgan.

$$\sigma = E\varepsilon$$

To'g'ri chiziq bilan ε o'qi orasidagi burchakning tenglamasi elastiklik moduli E ning miqdorini ko'rsatadi $E = \tan \alpha$

Agar sterjenlarning kesimlari pog'onali bo'lsa, absolyut deformatsiya ayrim uchastkalar uchun yozilib keyin uning yigindisi olinadi.

$$\Delta l = \sum_{i=1}^n \Delta l_i = \sum_{i=1}^n N_i l_i / E_i F_i$$



9 -shakl

bunda n uchastkalar yoki pog'onalar soni, N_i - sterjenning har qaysi uchastkasiga ta'sir qilgan buylama kuch, l_i - va F_i - sterjen ayrim uchastkasining uzunligi va ko'ndalang kesim yuzi, E_i - sterjenning har qaysi uchastkasidagi elastiklik moduli.

KO'CHISHLAR.

Sterjenlar deformatsiyalanganda ularning ko'ndalang kesimlarining shu sterjen o'qi bo'ylab ko'chishlarini odatda Δ yoki δ harflari bilan belgilanadi. Ko'chishlar garchi deformatsiya oqibatida hosil bo'lsa ham, biroq ular bir-biridan katta farq qiladi.

Ma'lumki, sterjen cho'zilganda eniga qisqaradi, siqilganda esa eniga kengayadi. Sterjen cho'zilganda yoki siqilganda ko'ndalang kesim o'lchamlarining o'zgarishiga ko'ndalang deformatsiya deyiladi.

Sterjenning deformatsiyagacha bo'lgan ko'ndalang kesim o'lchamlaridan birini a bilan belglaymiz.

$$\Delta a = a - a_1$$

Absolyut ko'ndalang qisqarishning avvalgi o'lchamiga nisbati:

$$\varepsilon^1 = \Delta a / a$$

Nisbiy ko'ndalang deformatsiya yoki nisbiy ko'ndalang qisqarish deyiladi. Tajribalar ε^1 nisbiy ko'ndalang deformatsiya bilan ε nisbiy bo'ylama deformatsiyalar nisbatining absolyut qiymati $\mu = |\varepsilon^1 / \varepsilon|$ - bunda μ - ko'ndalang deformatsiya koeffitsienti bo'lib materialning elastik xarakteristikalaridan biridir. Bu koeffitsientni dastlab fransuz matematigi Puasson (1781-1840) topganligi uchun unga Puasson koeffitsienti deyiladi.

Ushbu koeffitsient turli xil materiallar uchun 0 dan 0,5 oralig'ida bo'ladi.

CHO'ZILISH VA SIQILISHDA POTENSIAL ENERGIYA.

Sterjenga qo'yilgan yuk shu yuk qo'yilgan kesimdagi A nuqtasining ko'chishida ish bajaradi. Jism materiali akkumulyator singari potensial energiyani to'playdi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra

$$A = T + U$$

Sterjenga qo'yilgan kuch statik tarzda ta'sir etsa, sterjen zarralarining tezligi taxminan nolga deb olinishi mumkin, demak $T=0$ bo'ladi, bunda yuqoridagi formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$A = U$$

Shunday qilib, deformatsiyaning potensial energiyasi miqdor jio'atidan tashqi kuchlarning bajargan ishiga tengdir. (8 - shakl)

Endi sterjenning A nuqtasiga statik tarzda qo'yilgan kuchning shu sterjenni A nuqtasidan A_1 nuqtagacha cho'zishda bajargan ishini topamiz. Sterjenga qo'yilgan R kuch t vaqt davomida ta'sir qilishi natijasida sterjen Δl miqdorga cho'ziladi. Agar R kuchga yana dP orttirma bersak sterjen dt vaqt ichida qo'shimcha $d(\Delta l)$ Cho'zilishga ega bo'ladi. Ana shu keyingi Cho'zilishda tashqi kuch bajargan elementar ish quyidagicha aniqlanadi:

$$dA = (P + dP)d(\Delta l) = Pd(\Delta l) + dPd(\Delta l)$$

Bu ifodaning o'ng tomonidagi ikkinchi hadi, ya'ni $dPd(\Delta l)$ ikkinchi tartibli son bo'lganligidan uni e'tiborga olmaymiz, demak, $dA = Pd(\Delta l)$, yoki $A = U = P(\Delta l)^2$

$$U = P^2 l / 2EF = EF(\Delta l)^2 / 2l = \sigma^2 Fl / 2E$$

Sterjenning birlik o'ajmiga to'g'ri kelgan potensial energiya solishtirma potensial energiya deyiladi va uni a harfi bilan belgilanadi.

$$a = U / V = \sigma^2 / 2E$$

yoki uni kuchlanish va deformatsiya orqali ifodalasak quyidagi formula hosil bo'ladi.

$$a = \sigma \varepsilon / 2$$

Agar sterjen pog'onali bo'lsa, potensial energiyaning formulasi bunday yoziladi:

$$U = \sum \frac{N_i L_i}{2EF_i}$$

Xuddi shuningdek, tashqi kuchlarning bajargan ishlari quyidagicha aniqlanadi:

$$A = R_i \Delta l_i / 2$$

Nazorat savollari:

1. Absolyut cho'zilish (siqilish) nima?
2. Nisbiy cho'zilish nima va uning o'lchamlari qanday topiladi?
3. Guk qonuni nimadan iborat va uning matematik ifodasi qanday yoziladi?
4. Cho'zilish va siqilishda elastiklik moduli nimani xarakterlaydi?
5. Cho'zilish va siqilishda bikrlilik nima?
6. Bikrlilik koeffitsienti nima?
7. Puasson koeffitsienti nima?

4- -Mavzu. Statik noaniq masalalar va ularni echish.

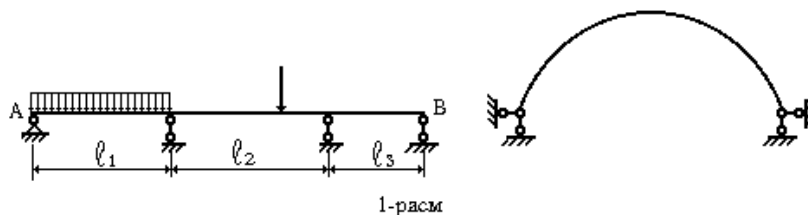
Reja:

1. Statik noaniq sistemalar va ularning xususiyatlari.
2. Kuch usulining mohiyati.

Tayanch so'z va iboralar:

Statik aniqmas, tejamli va bikr, iqtisodiy qulay, ortiqcha bog'lanishlar, haroratning o'zgarishi, tayanchlarning cho'kishi, tekis ramalar, tashqi statik aniqmas, ichki statik aniqmas, ortiqcha bog'lanishlar soni, asosiy sistema, ko'chishlar, noma'lum kuchlar, kuchlar ta'sirining mustaqillik printsipli, kanonik tenglamalar mohiyati.

Qurilish praktikasida statik aniq sistemalar bilan bir qatorda statik aniqmas konstruktsiya va inshootlar Ko'p uchraydi. Masalan: uch prolyotli balka yoki ikki sharnirli arka.



Bu tayanch bog'lovchilaridagi reaksiya kuchlarini yoki ularning zo'riqishlarini statikaning muvoza-nant tenglamalari orqali aniqlash yetarli emas, shu sababli bunday

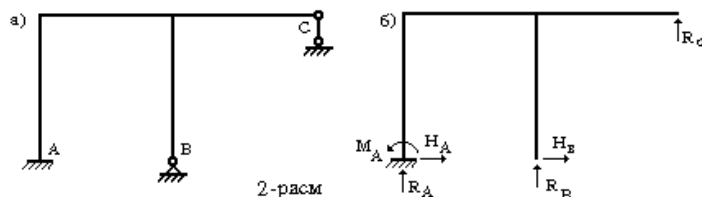
sistemalarni statik aniqmas konstruktsiyalar qatoriga kiritiladi. Chunki ularda ortiqcha bog'lanishlar mavjud bo'lib, har bir bog'lanishda noma'lum reaksiya kuchlari vujudga keladi. Noma'lumlarni aniqlash uchun noma'lumlar sonini tenglamalar soniga tenglashtirish uchun qo'shimcha tenglamalar tuzish talab etiladi.

Demak, elementlardagi tashqi kuchlardan hosil bo'ladigan zo'riqish va reaksiya kuchlarini faqatgina statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlab bo'lmaydigan sistemalarni **statik aniqmas sterjenli sistemalar** deyiladi.

Bog'lanish deganda nuqtalar va kesimlarning o'zaro qo'zg'alishiga qarshilik ko'rsatuvchi har qanday to'siq tushuniladi. «**Ortiqcha**» bog'lanish atamasi bog'lanishlarning "keraksizligini" emas, balki "keragidan ortiqcha" ekanligini anglatadi. Agar statik aniqmas sistemadagi ortiqcha bog'lanishlar tashlab yuborilsa, u holda statik aniq, geometrik o'zgarmas sistema hosil bo'ladi.

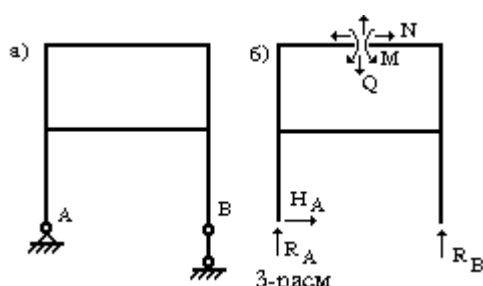
Demak, ortiqcha bog'lanishlar soni sistemaning **statik aniqmaslik darajasi** deb ataladi.

Statik aniqmas sistemalarni shartli ravishda tashqi va ichki statik aniqmas sistemalariga ajratiladi. **Masalan:**



Berilgan aniqmas ramada oltita noma'lum tayanch reaksiya kuchlari ko'rsatilgan. Shulardan uchtasini statikaning muvozanat tenglamalaridan to'lsa, qolgan uchta statika uchun "ortiqcha" bo'lib qoladi. Ramaning V

va S tayanchlarini ortiqcha bog'lanish deb qabul qilib tashlab yuborilishi ramaning geometrik o'zgarasligiga 'utur yetkazmaydi. Aksincha statik aniq sistema hosil bo'ladi. Ortiqcha bog'lanishlar o'rniga reaksiya kuchlar (V , R_V , R_C) ni qo'yamiz. Bu noma'lum reaksiya kuchlarni aniqlash uchun qo'shimcha tenglamalar tuzish taqozo etiladi. Xullas bu ramaning statik aniqmasligi tashqaridan ko'zga tashlanib turibdi. Xulosa qilib aytganda **tashqi statik aniqmas** sistemalarda, noma'lumlarni **tayanch reaksiya kuchlari** deb qabul qilinadi.



3-rasmdan ko'rinib turibdiki, ramaning statik aniqmasligi ko'zga yaqqol tashlanmaydi (3-rasm a.). Bir qarashda statik aniq ramaday tuyuladi. Aslida bu rama tashqi statik aniq, ichki statik aniqmas ramadir.

Geometrik o'zgarma, statik aniq sistema hosil qilish uchun berilgan ramaning biror yeridan qirqamiz. Qirqimga tushgan kesimning qo'zg'almasligini ta'minlash uchun shu kesimda hosil bo'ladigan ichki kuchlarni tashqi reaksiya kuchlarini chizamiz. (3-rasm v) Noma'lum tayanch reaksiyalari (R_A , R_B , R_V) statika tenglamalaridan to'lsa, noma'lum ichki kuchlarni qo'shimcha tenglamalardan to'iladi. Xulosa qilib aytganda **ichki statik aniqmas** sistemalarda, noma'lumlarni **elementlarni o'zida yoki ichki zo'riqishlar** deb qabul qilinadi.

Statik aniqmas sistemalar haqida to'la ma'lumotga ega bo'lish uchun qanday **xossalarga** ega ekanligini bilish zarur. Yani:

1. Statik aniqmas sistemalar tarkibida ortiqcha bog'lanishlarning mavjudligi tufayli o'ziga mos statik aniq sistemaga nisbatan bikrligi yuqoriroq bo'ladi.
2. Statik aniqmas sistemalar o'ziga mos statik aniq sistemalarga nisbatan tejamliror bo'ladi.
3. Statik aniqmas sistemalardan biror ortiqcha bog'lanishning shikastlanishi inshootning butunlay ishdan chiqishiga olib kelmaydi. Statik aniq sistemalarda birorta bog'lanish buzilsa, inshoot butunlay ishdan chiqaradi.
4. Statik aniqmas sistemalarda haroratning o'zgarishi va tayanchlarning cho'kishi natijasida qo'shimcha zo'riqishlar 'aydo bo'ladi. Sistema elementlarining uzunligidagi farqlari, elementlarni yig'ishda yo'l qo'lgan ba'zi aniqmasliklar ham sistemada qo'shimcha zo'riqishlarni hosil qiladi.
5. Statik aniqmas sistema elementlarida boshlang'ich zo'riqish kuchlari bo'lishi mumkin. Statik aniq sistemalarda esa bu zo'riqishlar nolga teng bo'ladi.
6. Statik aniqmas sistemalarni hisoblashdan oldin, ularning elementlarining uzunliklari va ko'ndalang kesimining shakli belgilangan bo'lishi kerak. Agar bu o'lchamlar elementning mustahkamlik shartlarini qanoatlantirmasa, u holda elementlar ko'ndalang kesimlarining yangi o'lchamlarini belgilab, konstruksiya qaytadan hisoblashga to'g'ri keladi.

Statik aniqmas sistemalarni xossalari bilan tanishganimizdan so'ng ularni hisoblash usullarini ko'rib chiqamiz.

1. **Kuchlar usuli.** Bu usulda sistemaning ortiqcha bog'lovchilarida hosil bo'ladigan zo'riqish noma'lum zo'riqishlar deb qabul qilinadi.
2. **Ko'chishlar usuli.** Bu usulda statik aniqmas sistema tugunlarining chiziqli va burchakli ko'chishlari noma'lum deb qabul qilinadi.
3. **Aralash usul.** Aralash usulda sistemaning bir qismida ortiqcha bog'lovchilarning zo'riqish kuchlari, qolgan qismida esa sistema tugunlarining ko'chishlari noma'lum deb qabul qilinadi. Demak, ramaning bir qismi uchun kuchlar usuli, ikkinchi qismi uchun esa ko'chishlar usuli tatbiq qilinadi.
4. **Ketma-ket muvozanatlash usuli.** Bu usul ko'chishlar usulining takamillashtirilgan ko'rinishidir. Statik aniqmas sistemalarni hisoblashda elektron hisoblash mashinalaridan foydalanish uchun yuqoridagi usullarni matritsa formasida ifodalash kerak.

Statik aniqmas sistemalarni hisoblashni kuchlar usulidan boshlaymiz. Bu usul qadimiy va 'uxta ishlangan usullardan biri bo'lib, qamrovining kengligi, o'zlashuvining osonligi bilan boshqa usullardan ajralib turadi.

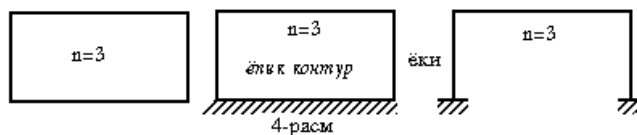
Statik aniqmaslik darajasini aniqlash. Kuchlar usulining harakterli xossalardan biri, statik aniqmas sistemani aniqmaslik darajasini aniqlashdir. Statik aniqmaslik darajasi qancha kam bo'lsa, uni hisoblash shuncha oson bo'ladi. Statik aniqmas sistemani ortiqcha bog'lavchilar soni n – quyidagicha aniqlanadi:

$$n = C_T + 2III + 3D, \quad (1)$$

bunda C_T – tayanch reaksiya kuchining soni, III – oddiy sharnirlar soni, D – statik aniq disklar soni.

Statik aniqmas sistemalarni aniqmaslik darajasini belgilash uchun quyidagi mulohazalarga asoslanib, uning yangi ifodasini olamiz.

1. To'g'ri to'rtburchakli yopiq konturli rama uchun:



Berilgan yopiq konturli ramaning aniqmaslik darajasi uchga teng (4-rasm). Yani;

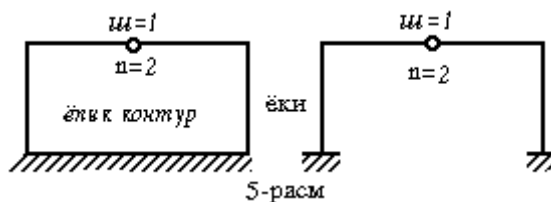
$$n = 3K = 3 \cdot 1 = 3 \quad (2)$$

bunda K - yopiq kontur soni.

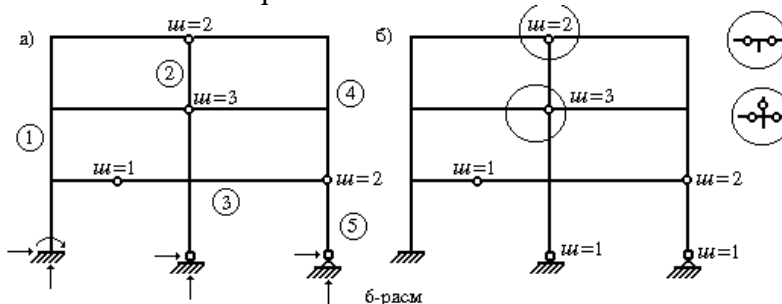
2. Agar yopiq konturli elementlaridan biriga sharnir kiritilsa, u holda ramaning statik aniqmaslik darajasi bittaga kamaytiriladi. Demak, xulosa qilib aytganda konturli ramalarning statik aniqmaslik darajasi n – quyidagicha aniqlanadi:

$$n = 3K + III \quad (3)$$

bunda K -yopiq konturlar soni, SH - oddiy sharnirlar soni.



Masalan, berilgan ramaning statik aniqmaslik darajasini (1) va (3) formulalarga asosan aniqlasak, (1) formulaga asosan tayanch reaksiya kuchlarini soni $S_t=7$, oddiy sharnirlar soni $SH=7$, disklar soni $D=5$, u holda $n = C_t + 2III + 3D = 7 + 2 \cdot 8 - 3 \cdot 5 = 8$ bo'ladi. (6-rasm a). (3) formulga asosan, berilgan ramaning statik aniqmaslik darajasini aniqlaymiz. Ramada yopiq konturlar soni $K=6$, oddiy sharnirlar soni $SH=10$, u holda $n = 3K - III = 3 \cdot 6 - 10 = 8$ (6-rasm b). Demak, berilgan rama sakkiz marta statik aniqmasdir.



Kuchlar usulining asosiy sistemasini tanlash. Har qanday statik aniqmas sistemaning hisobi uning aniqmaslik darajasini aniqlashdan boshlanadi. SHundan so'ng **asosiy sistema** tanlanadi. Berilgan sistemaning asosiy sistemalari bir nechta bo'lishi mumkin. Hisoblash uchun shularning ichidan eng qulayi tanlab olinadi. Keyingi hisoblar ana shu tanlangan sistema ustida olib boriladi.

Xo'sh, asosiy sistemaning o'zi nima va u qanday hosil qilinadi?

Asosiy sistema statik aniq va geometrik o'zgarmas bo'lib, u berilgan sistemadagi ortiqcha bog'lanishlarni tashlab yuborish yo'li bilan hosil qilinadi.

Asosiy sistemani hosil qilishning uch xil yo'li bor.

a) ortiqcha deb qabul qilingan tayanchlar yoki tayanch reaksiya kuchlaridan birini tashlab yuborish orqali;

b) berilgan sistemaga sharnirlar kiritish yo'li bilan;

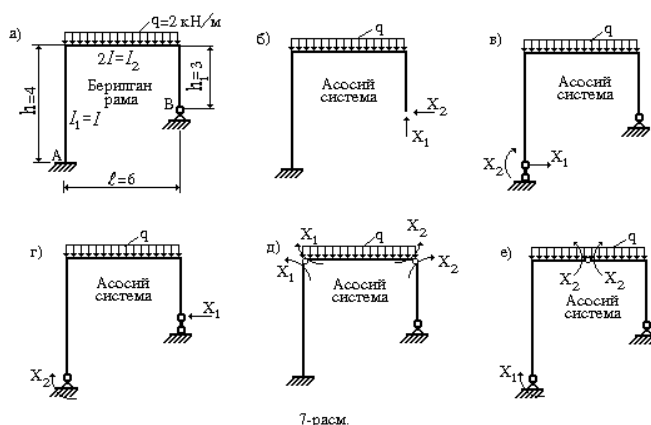
v) berilgan sistemani biror element kesmini qirqish yuli bilan.

Har uchala holda qam amalda ortiqcha bog'lanishlar tashlab yuborilgan deb hisoblanadi. SHundan so'ng, berilgan sistemaning dastlabki muvozanat holatini tiklash maqsadida yo'qotilgan bog'lanishlar o'rniga ularning vazifasini bajaruvchi noma'lum kuchlar X_1 , X_2 , X_3 , va hokazo qo'yiladi (7, 8-rasm).

Birinchi holda tashqi statik aniqmas rama uchun asosiy sistema variantlarini tanlashni ko'rib chiqamiz (7-rasm). Berilgan statik aniqmas rama uchun tuzilgan asosiy sistemalarga izoh

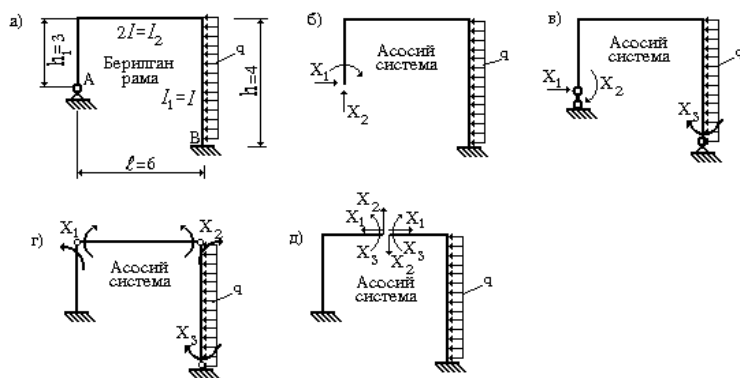
beramiz. Rama ikki marta statik aniqmas, shuning uchun unga besh xil asosiy sistema tasvirlangan. 7-rasm b-da sharnirli qo'zg'almas tayanch tashlab yuborilib, uning o'rniga tayanch reaksiyalari X_1 va X_2 qo'yilgan. 7-rasm v-da chap qistirib mahkamlangan tayanch sharnirli qo'zg'aluvchi tayanch bilan almashtirilgan. Tashlab yuborilgan bog'lanishlar o'rniga reaksiya kuchlari qo'yilan. 7-rasm d-da ramaning chap va o'ng biki tugunlarga sharnirlar kiritilgan va sharnirlar tufayli yo'qotilgan bog'lanishlar o'rniga moment X_1 va X_2 qo'yilgan. 7-rasm e-da chap qistirib maxkamlangan tayanch sharnirli qo'zg'aluvchi tayanch bilan almashtirilgan va rama rigeliga sharnir kiritilgan. Tashlab yuborilgan bog'lanishlar o'rniga moment X_1 va X_2 qo'yilan.

Beshta asosiy sistema ham geometrik o'zgarmas, statik aniqdir. Hisoblash ishlari uchun ular ichidan istalgan sistemani tanlab olish mumkin. Beshta holda ham hisob natijalari bir xil chiqaveradi. Biroq 7-rasm b-da tasvirlangan asosiy sistema bular ichida eng maqbulidir. Chunki bunday sistemaning M epyuralarini qurish va ko'chishlarni aniqlash boshqalariga nisbatan birmuncha qulay.



7-расм.

Ikkinchi holda uch noma'lumli ichki statik aniqmas ramaning to'rt xil asosiy sistemasi ko'rsatilgan. Bularning dastlabki uchasi avvalgi ramaga o'xshab ketadi (8-rasm b, v, g). Oxirgisi qirqish usulida hosil qilingan. Qirqilgan kesimga tashqi kuchlar ta'sirida shu kesimda hosil bo'ladigan ichki kuchlar, bo'ylama X_1 , ko'ndalang kuch X_2 , va eguvchi moment X_3 lar qo'yilgan. Bu to'rt asosiy sistemaning birinchi va oxirgisi hisoblash uchun qulaydir.



8-расм.

Kuchlar usulining kanonik tenglamalari. Asosiy sistemalarda ortiqcha bog'lanishlar noma'lum kuchlar bilan almashtirilgandan keyin, endigi vazifamiz ana shu noma'lum kuchlarni aniqlashdan iborat bo'ladi. Buning uchun statika tenglamalariga qo'shimcha ravishda **kanonik** tenglamalar tuzamiz. Kanonik tenglamalarni tuzish tartibini 7-rasm b-da ko'rsatilgan ikki noma'lumli rama misolida ko'rib chiqamiz.

Berilgan ramada sharnirli qo'zg'almas tayanchning markazi V vertikal va gorizontal yo'nalishlarda qo'zg'almasdir, ya'ni uning shu yo'nalishlardagi ko'chishlari nolga tengdir. Bunday shart asosiy sistemada ham saqlanib qolishi lozim, ya'ni V nuqtasining vertikal va gorizontal ko'chishlarinolga teng bo'lishi zarur.

$$\Delta_{x_1} = 0; \quad \Delta_{x_2} = 0; \quad (4)$$

bu yerda Δ_{x_1} –sterjen uchi S ning X_1 kuch yo'nalishidagi ko'chishi;

Δ_{x_2} –shu nuqtaning X_2 kuchi yo'nalishdagi ko'chishi.

Har ikkala ko'chish X_1 va X_2 kuchlari hamda tashqi yuklar ta'sirida vujudga keladi.

Kuchlar ta'sirining mustahkamligi qoidasidan foydalanib, (4) ni aloqida ko'chishlar yig'indisi sifatida ifodalaymiz.

$$\begin{aligned}\Delta_{x_1 x_1} + \Delta_{x_1 x_2} + \Delta_{x_1 P} &= 0; \\ \Delta_{x_2 x_1} + \Delta_{x_2 x_2} + \Delta_{x_2 P} &= 0;\end{aligned}\quad (5)$$

Bu yerda ko'chishlarga qo'yilgan birinchi indekslar ko'chishning yo'nalishini, ikkinchi indekslar esa shu ko'chishni yuzaga keltiruvchi sababni bildiradi.

Endi X_1 va X_2 kuchlarni ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishlarni Guk qonuniga asosan birlik ko'chishlar orqali ifoda etamiz.

$$\Delta_{x_1 x_1} = x_1 \delta_{11}; \quad \Delta_{x_1 x_2} = x_2 \delta_{12}; \quad \Delta_{x_2 x_1} = x_1 \delta_{21}; \quad \Delta_{x_2 x_2} = x_2 \delta_{22};$$

Bularni (5) tenglamaga qo'ysak, ikki noma'lumli sistema uchun kuchlar usulining kanonik tenglamalari kelib chiqadi:

$$\begin{aligned}\delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \Delta_{1P} &= 0; \\ \delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \Delta_{2P} &= 0;\end{aligned}\quad (6)$$

Bu yerda δ_{11} - X_1 kuchi qo'yilgan nuqtaning shu kuch yo'nalishida $X_1 = 1$ kuchi ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishi;

δ_{12} - X_1 kuchi qo'yilgan nuqtaning shu kuch yo'nalishida $X_2 = 1$ kuchi ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishi;

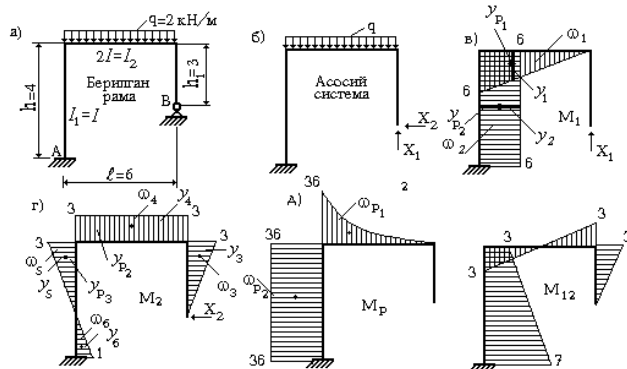
Δ_{1P} - X_1 kuchi yo'nalishida, Δ_{2P} - X_2 kuchi yo'nalishida tashqi kuchlar ta'sirida hosil bo'lgan ko'chish.

Agar (6) da ifodalangan kanonik tenglamalarning tuzilishiga jiddiy e'tibor bersak, uning yozilishida ma'lum qonuniyat borligini 'ayqash qiyin emas. SHu qonuniyatdan foydalanib sistemaning statik aniqmaslik darajasiga qarab, kanonik tenglamalarni keragicha tuza olamiz. Masalan berilgan sistema n marta statik noanik bo'lsa u holda kanonik tenglamalar soni ham n ta bo'ladi.

$$\begin{aligned}\delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \delta_{13} X_3 + \dots + \delta_{1n} X_n + \Delta_{1P} &= 0; \\ \delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \delta_{23} X_3 + \dots + \delta_{2n} X_n + \Delta_{2P} &= 0; \\ \delta_{31} X_1 + \delta_{32} X_2 + \delta_{33} X_3 + \dots + \delta_{3n} X_n + \Delta_{3P} &= 0; \\ \dots & \\ \delta_{n1} X_1 + \delta_{n2} X_2 + \delta_{n3} X_3 + \dots + \delta_{nn} X_n + \Delta_{nP} &= 0;\end{aligned}\quad (7)$$

Ushbu tenglamalardagi birlik ko'chishlar δ_{ik} -koeffisient, tashqi kuchlardan hosil bo'lgan ko'chishlar Δ_{ip} esa ozod had vazifasini o'taydi. Ko'chishlarni o'zaro munosabati haqidagi

Maksvel teoremasiga binoan $\delta_{ik} = \delta_{ki}$ bo'ladi.



Bir bir indeksli ko'chishlar (δ_{11}, δ_{22}) bosh ko'chishlar yoki kanonik tenglamaning asosiy koeffitsientlari deb ataladi. Ular hech qachon nolga teng bo'lmaydi va doimo musbat ishorali bo'ladi. SHu sababli ular hamma vaqt tenglamada ishtirok etadi.

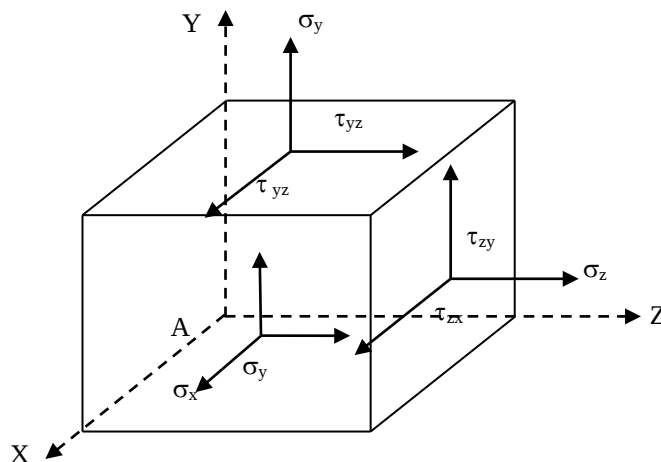
Turli indeksli ko'chishlar ($\delta_{12}, \delta_{13} \dots$) esa musbat va manfiy ishoralarga ega bo'lishi va demak, nol bo'lishi ham mumkin. SHuning uchun bular ikkinchi darajali ko'chishlar deb ataladi.

Mustaqil ishlash va nazorat savollari:

1. Statik noaniq sistemalarni hisoblashda kuch usuli deb nomlanishiga sabab nima?
2. Statik noaniq sistemalarning tahrifini ayting?
3. Statik noaniq sistemalarning asosiy xususiyatlari nimadan iborat?
4. Tekis sistemalarning statik noaniqlik darajasi qanday aniqlanadi?
5. Kuch usulining asosiy sistemasi qanday tanlanadi?
6. Asosiy sistema qanday shartlarga javob berishi kerak?
7. Kuch usulining kanonik tenglamalari qanday mahnoni bildiradi?
8. Kanonik tenglamalar sistemasining bosh koeffitsientlari nolga teng bo'lishi mumkinmi?
9. Kanonik tenglamalar sistemasining yordamchi koeffitsientlari qanday qiymatlarga teng bo'ladi?
10. Tenglamalar sistemasining koeffitsient va ozod hadlari qanday mahnoga ega?
11. Kuch usulini qanday ramalarda qo'llash maqsadga muvofiq bo'ladi?

5- Mavzu. Kuchlanish holatlari turlari. Kuchlanish va deformatsiyalanish holatlari nazariyasi.

Sterjen kesimlarida hosil bo'ladigan kuchlanishlarning miqdori va turi kesimning tashqi yuklamaga nisbatan joylashishiga bog'liq bo'lib, nuqtadan o'tuvchi kesimlardagi barcha normal va urinma kuchlanishlar birgalikda nuqtaning kuchlanish holatini ifodalaydi. Kuchlanish holatini tekshirish uchun ko'rilayotgan nuqta atrofida 6 ta kesim o'tkazib to'g'ri burchakli elementar parallelepiped ajratamiz (5.1-rasm). Parallelepipedning barcha qirralari A nuqtadan o'tgani uchun, uning o'lchamlari kichraytirilsa u shu nuqtaga intiladi. Bu holda kesishuvchi tekisliklardagi kuchlanishlarni, tekshirilayotgan nuqtaga ta'sir qilayotgan kuchlanishlar deb qarash mumkin.



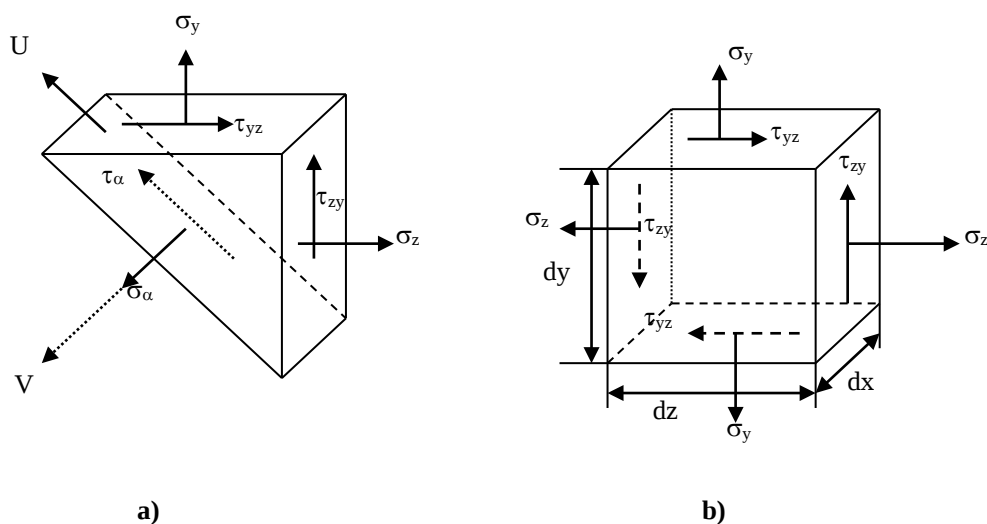
5.1-rasm. Element tomonlariga ta'sir etayotgan kuchlanishlar.

Kesishuvchi yuzachalarda hosil bo'layotgan to'la kuchlanishni 3 ta tashkil etuvchilarga, ya'ni – bittasi yuzachaga normal bo'lgan – normal kuchlanishga, ikkitasini esa kesim tekisligida yotuvchi urinma kuchlanishlarga ajratish mumkin. Normal kuchlanishlarni mos x, y, z o'qlari bo'yicha $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ harflari bilan belgilaymiz (5.1-rasm). Urinma kuchlanishlarni ikkita indeksli (τ) harfi bilan belgilaymiz.

Birinchi indeks yuzachaning qaysi o'qqa perpendikulyarligini ko'rsatsa, ikkinchisi τ vektor yo'nalishini ko'rsatadi. O'qlarning musbat yo'nalishini an'anaviy ravishda olamiz (5.1-rasm).

Cho'zuvchi σ kuchlanishlarni musbat, siquvchi σ kuchlanishlarni manfiy deb olamiz. Urinma τ kuchlanishlarning ishorasi biz ko'rayotgan masalalarda uncha ahamiyatga ega emas.

Cheksiz kichik elementning qirralarida (nuqtadan o'tuvchi o'zaro tik 3 ta tekisliklarda) hosil bo'ladigan kuchlanishlar 5.2a rasmda ko'rsatilgan. Elementning ko'rinmayotgan qirralarida ham huddi shunday qarama-qarshi yo'nalgan kuchlanishlar hosil bo'ladi.



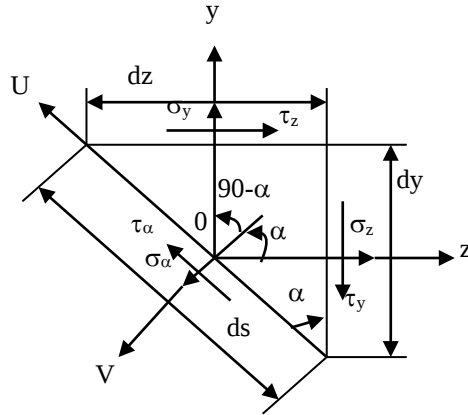
5.2-rasm. Tekis kuchlanish holati:

- a) tekis kuchlanish holatida qiya kesimdagi kuchlanishlar; b) tekis kuchlanish holatidagi elementar parallelepiped.

Agar ko'rilayotgan nuqta atrofidan shunday parallelepiped ajratish mumkin bo'lsaki, uning barcha qirralarida kuchlanishlar mavjud bo'lsa, bunday kuchlanish holati hajmiy kuchlanish holati deyiladi (5.1-rasm). Agar ajratilgan parallelepipedning ikkita qarama-qarshi qirralari kuchlanishdan xoli bo'lsa, bunday kuchlanish holati tekis (5.2b-rasm), to'rtta qarama-qarshi qirralari kuchlanishdan holi bo'lsa chiziqli kuchlanish holati deb ataladi. Masalan: suvning gidrostatik bosimi ostidagi jismda fazoviy kuchlanish holati hosil bo'ladi. Materiallar qarshiligida hajmiy kuchlanish holati deyarli amalda ko'rilmaganligi uchun, tekis kuchlanish holatini tekshiramiz. Chiziqli kuchlanish holat esa tekis kuchlanish holatining xususiy holidan kelib chiqadi. Tekis kuchlanish holatida kuchlanishlarni

quyidagicha, faqat bitta indeks orqali ham belgilash mumkin, ya'ni $\tau_y = \tau_{zy}$, $\tau_z = \tau_{yz}$ deb.

Tekis kuchlanish holatida bo'lgan elementar prizmaning (5.2a-, 5.3-rasmlar) muvozanatini ko'ramiz.



5.3-rasm. Tekis kuchlanish holatidagi elementar prizma.

5.3-rasmda barcha kuchlanishlarning musbat yo'nalishlari ko'rsatilgan. Prizmaning o'lchamlari kichik bo'lganligi uchun kuchlanishlar uning qirralari bo'ylab tekis taqsimlangan deb qaraymiz, ya'ni qirraga ta'sir etuvchi kuch kuchlanishning qirra yuzachasiga ko'paytmasiga teng.

Statikaning muvozanat tenglamalariga asosan prizмага (5.3-rasm) ta'sir qilayotgan barcha kuchlardan U va V o'qlariga proeksiyalar olib, ularning yig'indisini nolga tenglaymiz:

$$\sum U = \tau_{\alpha} ds \cdot dx - (\sigma_z \cdot dy \cdot dx + \tau_z \cdot dz \cdot dx) \cos \alpha - (\sigma_y \cdot dz \cdot dx - \tau_y dy \cdot dx) \cos(90^\circ - \alpha) = 0 \quad (5.1)$$

$$\sum V = \tau_{\alpha} ds \cdot dx - (\sigma_z \cdot dy dx + \tau_z \cdot dz dx) \sin \alpha + (\sigma_y \cdot dz \cdot dx - \tau_y dy \cdot dx) \sin(90^\circ - \alpha) = 0 \quad (5.2)$$

Bu yerda $ds = dy / \cos \alpha$

O nuqtaga nisbatan momentlar yig'indisini olib uni ham nolga tenglaymiz

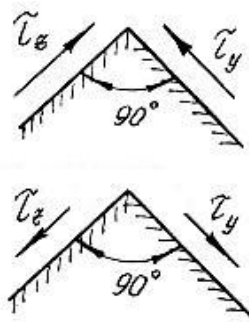
$$\sum M_0 = \tau_y dy \cdot dx \cdot \frac{dz}{2} + \tau_z \cdot dz \cdot dx \cdot \frac{dy}{2} = 0 \quad (5.3)$$

Bundan

$$\tau_y = -\tau_z \quad (5.4)$$

kelib chiqib, bu tenglik urinma kuchlanishlarning juftlik qonuniyati deyiladi.

(5.4) tenglik o'zaro tik yuzachalarda hosil bo'luvchi urinma kuchlanishlar miqdor jihatidan teng, yo'nalish jihatidan qarama-qarshi ekanligini isbotlaydi (5.4-rasm).



5.4-rasm. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni.

(5.1) va (5.2) tengliklarni ixchamlasak quyidagi munosabatlar hosil bo‘ladi:

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_z \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + \tau_z \sin 2\alpha \quad (5.5)$$

$$\tau_{\alpha} = \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha - \tau_z \cos 2\alpha. \quad (5.6)$$

Hosil bo‘lgan (5.5) va (5.6) ifodalar, agar o‘zaro tik ikkita yuzachada σ_x , σ_y , τ_z , qiymatlari ma’lum bo‘lsa berilgan nuqtadan o‘tuvchi ixtiyoriy yuzachada hosil bo‘ladigan σ_{α} va τ_{α} kuchlanishlarni topish imkoniyatini beradi. Bu yerdagi z , y o‘qlarining yo‘nalishlari ixtiyoriy bo‘lishi mumkin.

Qiya yuzachaga tik bo‘lgan, ya’ni $\alpha + 90^\circ$ burchakka burilgan yuzachadagi normal kuchlanishni (5.5) formulaga asosan topsak

$$\sigma_{\alpha+90} = \sigma_z \cos^2(\alpha + 90^\circ) + \sigma_y \sin^2(\alpha + 90^\circ) + \tau_z \sin 2(\alpha + 90^\circ) \quad (5.7)$$

bo‘ladi.

Yuqoridagi (5.5) bilan (5.7) ni qo‘shib quyidagini hosil qilamiz:

$$\sigma_{\alpha} + \sigma_{\alpha+90} = (\sigma_z + \sigma_y) (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)$$

ya’ni

$$\sigma_{\alpha} + \sigma_{\alpha+90} = \sigma_z + \sigma_y = \text{const.} \quad (5.8)$$

Natijada tekshirilayotgan nuqtadan o‘tuvchi tik yuzachalardagi normal kuchlanishlarning yig‘indisi o‘zgarmas miqdor ekanligi isbotlandi. Berilgan α burchakning o‘zgarishi bilan har bir qiya yuzachadagi normal kuchlanishning qiymati ham o‘zgaradi. Demak, shunday o‘zaro tik yuzachalar mavjud bo‘lishi kerakki, ularning birida normal kuchlanish eng katta, ikkinchisida esa eng kichik qiymatga ega bo‘ladi. Bu yuzachalar bosh yuzachalar deyilib, unda hosil bo‘lgan kuchlanishlar esa bosh kuchlanishlar deb ataladi (Shunday natija tekis kesimlarning inersiya momentlarida ham olingan edi).

6-mavzu. Tekis kuchlanish holatida ekstremal urinma kuchlanishlarni hisoblash. Mor doirasi.

Muhandislik konstruksiyalarini hisoblaganda nuqta orqali o‘tgan barcha yuzalarda hosil bo‘ladigan kuchlanishlarni bilish shart emas, faqat kuchlanishlarning eng katta va kichik qiymatlarini aniqlash yetarli. Shuning uchun bosh kuchlanishlarni va bu kuchlanishlar hosil bo‘layotgan bosh yuzalarni aniqlash asosiy masalalardan biri bo‘ladi.

Tekshirilayotgan nuqtadan o'tuvchi bosh yuzachalar σ_z , σ_y kuchlanishga ega bo'lgan yuzachalarga nisbatan α burchakka burilgan bo'lsin. Ixtiyoriy qiya yuzada hosil bo'ladigan kuchlanish σ_α ni α burchak funksiyasi ((5.5)ga asosan) deb qarab,

α bo'yicha birinchi tartibli hosila $\frac{d\sigma_\alpha}{d\alpha}$ olamiz va uni nolga tenglaymiz:

$$\frac{d\sigma_\alpha}{d\alpha} = -\sigma_z 2 \sin \alpha \cos \alpha + \sigma_y 2 \sin \alpha \cos \alpha + \tau_z 2 \cos 2\alpha = -(\sigma_z - \sigma_y) \sin 2\alpha + 2\tau_z \cos 2\alpha = 0 \quad (5.9)$$

Bu ifodani ixchamlab $\alpha = \alpha_0$ desak, u holda

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2\tau_z}{\sigma_z - \sigma_y} \quad \text{bo'ladi.} \quad (5.10)$$

Bu yerda, α_0 – bosh yuzalarning σ_z va σ_y kuchlanishlar ta'sir qilayotgan yuzalarga nisbatan buralishini ifodalovchi burchak.

Shuni e'tiborga olish lozimki, $\frac{d\sigma_\alpha}{d\alpha}$ ifoda (5.6) τ_α ni ikkilanganiga teng.

Agar (5.6) bilan (5.9) solishtirsak $\frac{d\sigma_\alpha}{d\alpha} = 2\tau_\alpha = 0$ ekanligi kelib chiqadi.

Bu esa o'z navbatida bosh yuzalarda urinma kuchlanishlarning nolga teng bo'lishini ko'rsatadi.

Bosh yuzalar holatini aniqlash uchun, agar $\alpha_0 > 0$ bo'lsa σ_z va σ_y kuchlanishlar ta'sir qilayotgan yuzalarni soat strelkasiga qarshi α_0 burchakka burish kerak, agar $\alpha_0 < 0$ bo'lsa soat strelkasi bo'yicha α_0 burchakka burish kerak bo'ladi. Bu burchak qiymati $\alpha_0 = (-45^\circ, 45^\circ)$ bo'lishi mumkin. Bosh kuchlanishlar, ya'ni $\sigma_{\max} = \sigma_1$ va $\sigma_{\min} = \sigma_2$ qiymatini aniqlash uchun (5.5) va (5.10) lardan foydalanib quyidagi formulani keltirib chiqarish mumkin

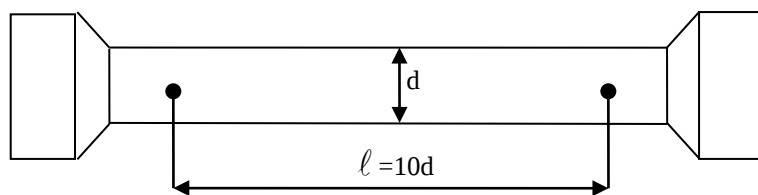
$$\sigma_{\min}^{\max} = \sigma_{1,2} = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2}. \quad (5.11)$$

$\sigma_{\max}$ kuchlanish ta'sir qilayotgan bosh yuza holatini aniqlash uchun katta qiymatli σ_z yoki σ_y ta'sir qilayotgan yuzani α_0 burchakka burish kerak, ya'ni shu yuzaga ta'sir qilayotgan urinma kuchlanish elementar parallelepiped markaziga nisbatan qaysi yo'nalishda aylantirishga harakat qilayotgan bo'lsa, shu yo'nalishda burish kerak. $\sigma_{\max}$ ta'sir qilayotgan bosh yuza aniqlangandan so'ng unga tik bo'lgan $\sigma_{\min}$ kuchlanishli ikkinchi bosh yuza osonlik bilan topiladi.

Materiallarning mexanik xossalarini tajriba yordamida aniqlash

Konstruksiya elementlarini mustahkamlikka hisoblashda va deformatsiyalarini aniqlashda materialning mexanik xarakteristikalarini – ruxsat etilgan kuchlanishning va elastiklik modulining qiymatlari ishlatiladi. Ushbu xarakteristikalar tekshirilayotgan materialdan olingan namunalarni tajribada sinab, olingan natijalarni tahlil qilish asosida topiladi. Namunalarni tajribada sinashning eng ko'p tarqalgan usuli bu cho'zish va siqishga sinashdir. Buning uchun ma'lum miqdordagi yuklanishni berilgan tezlik bilan namunaga bera oladigan turli xildagi

sinov mashinalaridan foydalaniladi. Bu holda namunaga (4.7-rasm) beriladigan zo‘riqishni, sinov mashinasining turiga qarab bir necha grammdan yuzlab tonnagacha o‘zgartirish mumkin.

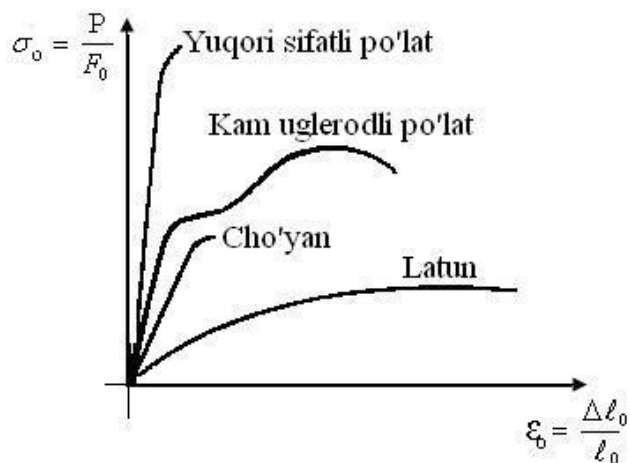


4.7-rasm. Cho‘zilish deformatsiyasiga sinash uchun namuna.

Zo‘riqishga mos keluvchi absolyut deformatsiyalar esa namunaga (sterjenlarga) o‘rnatilgan tenzometrlar yordamida aniqlanadi. Hozirgi zamon sinov mashinalari zo‘riqishga mos keluvchi deformatsiyani aniqlash bilan birga avtomatik ravishda $P = f(\Delta l)$ yoki $\sigma = f(\varepsilon)$ grafiklarini ham chizib boradi. Bu funksiya grafiklari $\sigma \sim \varepsilon$ ning shartli diagrammalari deyilib, materialning mexanik xarakteristiklari shu diagrammalardan aniqlanadi.

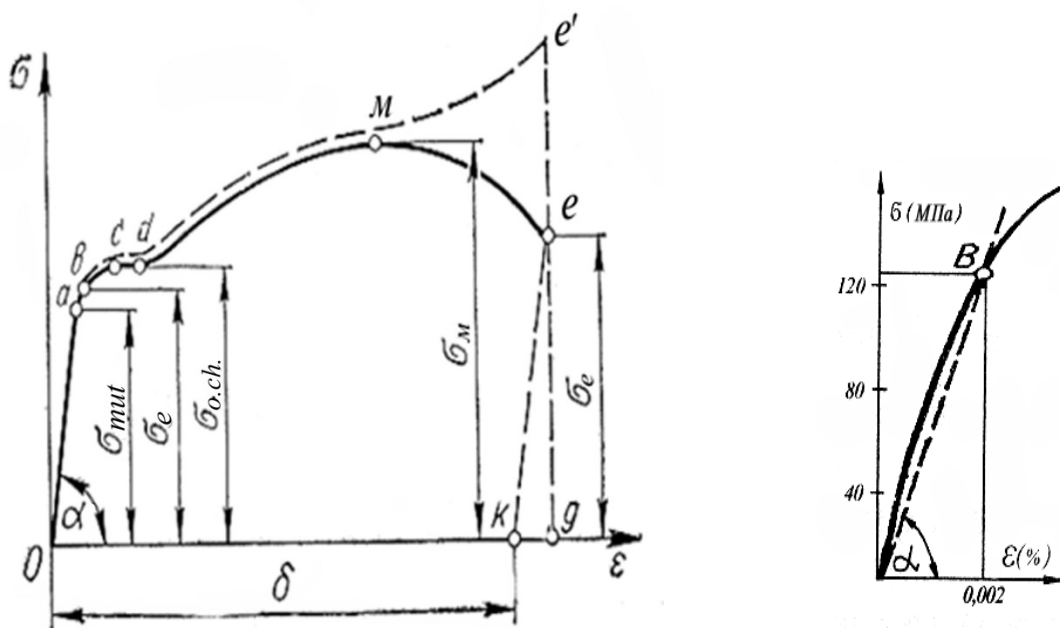
Turli xil materiallar uchun σ va ε diagrammalari 4.8-rasmda keltirilgan.

Bu yerda ℓ namunaning (sterjenning) boshlang‘ich uzunligi, F –sterjenning boshlang‘ich ko‘ndalang kesim yuzasi. 4.8-rasmda tasvirlangan diagrammalar turli xil masshtablarda keltirilgan.



4.8-rasm. Turli materiallar uchun cho‘zilish diagrammalari.

Diagrammalarning xilma-xilligi materiallarning xossalarini aniqlashda asosiy ma‘lumot beruvchi manba bo‘lib, ularni sinflarga ajratishda va ko‘rgazmali namoyish etishda kerakli ma‘lumot hisoblanadi. Odatda diagrammalar shartli ravishda plastik materiallar diagrammasi va mo‘rt materiallar diagrammasiga ajratiladi. 4.9a,b-rasmlarda plastik va mo‘rt materiallar uchun har xil masshtablarda qurilgan va shartli soddalashtirilgan diagrammalar keltirilgan.



4.9-rasm. Deformatsiyanish diagrammasi:
a) plastik material; b) mo'rt material.

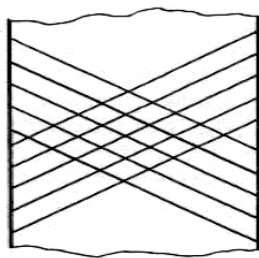
Plastik materiallar uchun $\sigma \sim \varepsilon$ diagrammasini ko'raylik (4.9a-rasm). Digramma bir qator o'ziga xos bo'laklardan iborat. OA bo'lakda diagramma to'g'ri chiziqdan iborat. A nuqtada proporsionallik chegarasiga mos keluvchi kuchlanish $\sigma_{p.ch.}$ ning eng katta qiymati hosil bo'lib, agar kuchlanish undan ortib ketsa Guk qonuni bajarilmaydi. Kam uglerodli po'latlar uchun $\sigma_{p.ch.}$ ning qiymati taxminan 2000 kgk/sm^2 ga teng bo'ladi.

Bu holda elastiklik moduli $E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \tan \alpha$ bo'ladi. σ_e – elastiklik chegarasidagi eng katta kuchlanishni ifodalaydi. Kuchlanishning qiymati $\sigma_{p.ch.}$ dan ortishi bilan deformatsiya yuklanishdan tezroq o'sadi va diagramma A_1 nuqttagacha yuqoriga qavargan egri chiziq ko'rinishini oladi. So'ngra material xarakterida keskin o'zgarish yuz beradi va cho'zuvchi kuchning ma'lum bir qiymatida material «oqadi», bu holda deformatsiyaning ortishi uchun cho'zuvchi kuchni oshirmasa ham bo'ladi. Diagrammada gorizontaal (yoki deyarli gorizontaal) qism (B–C) hosil bo'ladi.

Yuklanish o'zgarmas (deyarli o'zgarmas) bo'lganda deformatsiyaning o'sishi materialning oquvchanligini ifodalaydi va bu holatga to'g'ri keluvchi kuchlanish oquvchanlik chegarasidagi kuchlanish deyilib, u σ_{oq} deb belgilanadi. Kam uglerodli po'lat uchun $\sigma_{oq} \approx 2400 \text{ kgk/sm}^2$ ga teng bo'lishi mumkin.

Namuna materiali oqayotganda uning sirtida ko'proq yoki kamroq keskin ko'zga tashlanadigan darajadagi to'g'ri chiziqlar paydo bo'ladi. Bu chiziqlar «Chernov chiziqlari» yoki ba'zi hollarda «Lyuders chiziqlari» deb ataladi (4.10-

rasm). Bu chiziqlar material yetarli darajada deformatsiyalanganda material zarralarining o‘zaro harakatlanishi natijasida hosil bo‘ladi.

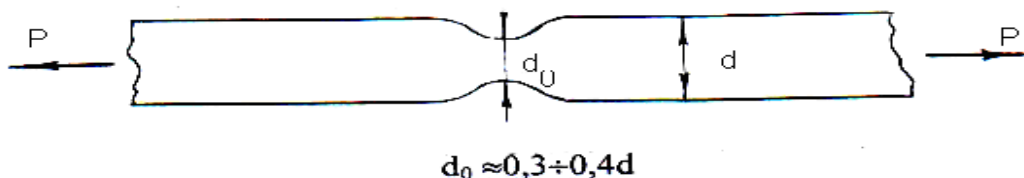


4.10-rasm. Oquvchanlik chegarasida chiziqlarning hosil bo‘lishi.

Oquvchanlikdan so‘ng (C nuqtadan keyin) material yana cho‘zilishga qarshilik ko‘rsata boshlaydi va $\Delta\ell$ ni uzaytirish uchun kuchni oshirishga to‘g‘ri keladi. Diagrammaning D nuqtasida kuchlanish eng katta qiymatga erishib, bu material ko‘tara oladigan eng katta yukning qiymatiga to‘g‘ri keladi. Bu kuchlanish $\sigma_{m.ch.}$ deb belgilanib, mustahkamlik chegarasidagi kuchlanishni ifodalaydi.

Bu vaqtdan boshlab namuna o‘zini boshqacha tuta boshlaydi. Shu davrgacha cho‘zilishda butun sterjen qatnashib, uni uzunligining har bir bo‘lagi taxminan bir xil uzayib, ko‘ndalang o‘lchamlari ham bir xil qisqargan edi.

Yuklanishning qiymati D nuqtadagi qiymatga yetgan vaqtdan boshlab, deformatsiya asosan namunaning bir joyiga yig‘iladi, ya‘ni shu joy atrofida kichkina bo‘lakka katta kuchlanish ta‘sir qiladi. Bu holat o‘sha joydagi ko‘ndalang kesimning torayishiga olib kelib, «bo‘yin» deb ataluvchi qism paydo bo‘ladi (4.11-rasm).



4.11-rasm. Mustahkamlik chegarasidan so‘ng namunada bo‘yinchaning hosil bo‘lishi.

Bu holda namuna deformatsiyalanuvchi qismining kichrayishi hisobiga sterjenni cho‘zish uchun tobora kamroq kuch talab etiladi va nihoyat namuna K nuqtada uziladi.

Agar tajribani kuchlanish $\sigma_{p.ch.}$ ga yetmasdan to‘xtatib namunadan kuchni olib tashlasak, (ya‘ni yuksizlantirsak) u holda yuksizlanish ham diagramma ham shu AO chizig‘i bo‘yicha orqaga qaytadi. Bu holda namunadan yuk olinganidan keyin deformatsiya batamom yo‘q bo‘lib ketib, sterjen o‘zining oldingi holatiga qaytadi. Bu sterjenning faqat elastik deformatsiyalanganligini bildiradi.

Agar namuna diagrammaning C va D nuqtalar oralig‘ida yotuvchi Z nuqtasida yuksizlantirilsa, u holda yuksizlantirish natijasida diagramma OA to‘g‘ri chiziqqa deyarli parallel bo‘lgan ZO_1 to‘g‘ri chiziq bo‘yicha orqaga qaytadi. Bu

holda namuna boshlang'ich o'lchamlariga qaytmaydi, O_1O_2 kesma elastik deformatsiyani, OO_1 kesma qoldiq deformatsiyani, OO_2 to'liq deformatsiyani ifodalaydi. Shunday OA_1 yuklanishni topish mumkinki, bunda namuna faqat elastik deformatsiyalanib, odatda diagrammaning A_1 nuqtasi A nuqtadan sal yuqoriroqda yotadi. Elastiklik chegarasida, ya'ni σ_e da deformatsiya $\varepsilon \approx 0,001-0,03\%$ ni tashkil qilishi mumkin.

Odatda A va A_1 nuqtalar shu darajada bir-biriga yaqin bo'ladiki, elastiklik chegarasi σ_e bilan proporsionallik chegarasi $\sigma_{p.ch.}$ ko'p hollarda ustma-ust tushishi ham mumkin. Shuning uchun material elastiklik chegarasigacha Guk qonuniga bo'ysunadi deb hisoblanadi. Haqiqatda esa proporsionallik chegarasigacha material Guk qonuniga $\sigma=E \cdot \varepsilon$ bo'ysunadi deyish to'g'riroq bo'ladi.

Namuna uchun cho'zuvchi kuchning eng katta qiymati OD ordinataga to'g'ri keladi, shuning uchun ko'p hollarda bu kuch buzuvchi yuklanish ham deb ataladi, chunki u buzilishning boshlanishiga sababchi bo'ladi, to'la buzilish esa diagrammadagi yuklanish K nuqtaga yetganda hosil bo'ladi. Eng katta yuklanish hosil qilgan D nuqtadagi kuchlanish mustahkamlik chegarasidagi kuchlanish ($\sigma_{m.ch.}$) yoki vaqtinchalik qarshilik ko'rsatuvchi kuchlanish σ_v deb ataladi. Kam uglerodli po'lat uchun $\sigma_{m.ch.} \approx 4000 \text{ kg/sm}^2$ ga teng bo'lishi mumkin.

4.2-jadvalda ba'zi-bir materiallar uchun oqish chegarasidagi σ_{oq} va mustahkamlik chegarasidagi $\sigma_{m.ch.}$ kuchlanishlarning eng katta qiymatlari keltirilgan.

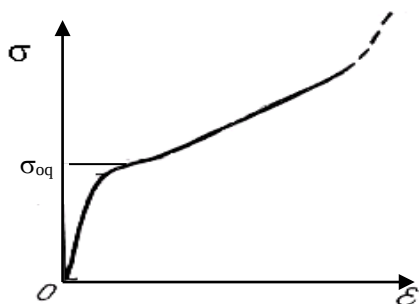
Turli materiallar uchun oquvchanlik va mustahkamlik chegaralari

4.2- jadval

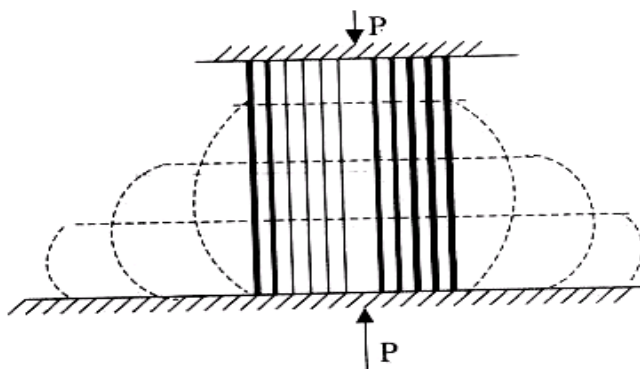
Materialning nomi	Markasi	Kuchlanishlar	
		σ_{oq} kgk/sm ²	$\sigma_{m.ch.}$ kgk/sm ²
Uglerodli po'lat	St.3	2400	3800–4700
	St.6	3100	6000–7200
Xromli po'lat	20X	6500	8000
Xrom-kremniy marganesli po'lat	35XGSA	14000	16500
Dyuralyuminiy	D16	3300	4500–5000
Titan qotishmasi	VT4	7000–8000	8000–9000

4.12-rasmda plastik materiallar uchun siqilish diagrammasi $\sigma \sim \varepsilon$ keltirilgan.

Plastik materiallar uchun siqilish diagrammasi $\sigma \sim \varepsilon$ ning cho'zilishdagi diagrammadan (4.8-rasm) farqi vaqtinchalik qarshilik ko'rsatish nuqtasining bo'lmasligidadir. Bu holda namunaning siqilishdagi deformatsiyasi 4.13-rasmda ko'rsatilgan.



4.12-rasm. Plastik material uchun siqilish diagrammasi.



4.13-rasm. Namunaning deformatsiyalanishi.

Ko'ndalang kesim yuzasining kattalashib borishi evaziga plastik materiallarda namunani deyarli buzib bo'lmaydi. Ammo kuchlanishning noldan σ_{oq} gacha bo'lgan qiymatlarida plastik materiallarning siqilish va cho'zilish diagrammalari bir xil bo'ladi.

Bunday materiallar uchun ruxsat etilgan kuchlanishning qiymati quyidagi munosabat yordamida aniqlanadi:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{oq}}{n_1} \quad (4.8)$$

(n_1 – ehtiyotlik koeffitsienti).

Mo'rt materiallar uchun $\sigma \sim \varepsilon$ diagrammasi D nuqtada tugovchi to'g'ri chiziqdan iborat (4.9b-rasm) bo'lib, bu nuqtadagi kuchlanishning qiymati σ_v deb belgilanib, u vaqtinchalik qarshilik ko'rsatuvchi kuchlanish deb ataladi. Mo'rt materiallarning siqilish va cho'zilishdagi diagrammalarining xarakteri bir xil bo'ladi, lekin σ_v ning qiymati siqilishda cho'zilishga nisbatan ancha katta bo'ladi (4.3-jadval).

Mo'rt materiallarning haqiqiy $\sigma \sim \varepsilon$ diagrammasida kuchlanish va deformatsiya o'rtasida to'g'ri proporsionallik bog'lanish mavjud bo'lmasdan, u egri chiziqqa yaqin chiziqdan tashkil topgan bo'ladi.

Shunday qilib, ushbu materiallar uchun elastiklik moduli E siqilish va cho'zilishda bir-biridan farq qiluvchi o'zgaruvchan kattalik bo'ladi. Lekin amaldagi kuchlanishning o'zgarish chegarasida bu holat hisobga olinmay elastiklik modulini o'zgarmas deb, kuchlanish bilan deformatsiya o'rtasidagi bog'lanishni chiziqli deb olish mumkin.

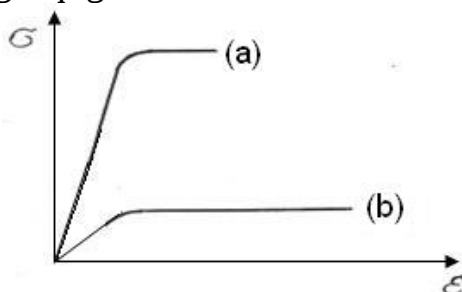
Turli materiallarning cho'zilish va siqilishda mustahkamlik chegaralari
(kgk/sm^2) da

4.3-jadval

Materialning nomi	Cho'zilishda $\sigma_{m.ch.}$	Siqilishda σ_v
Oddiy kulrang cho'yan	1400 ... 1800	6000... 10000
Mayda zarrali kulrang cho'yan	2100 ... 2500	14000 gacha

Oq cho‘yan	–	17500 gacha
Bakelit	200 ... 300	800 ... 1000
Tekstolit	500 ... 1000	1500 ... 2500
Getinaks	800 ... 1000	2400 ... 3400
Qattiq polivinilxlorid (PVX, viniplast)	400 ... 500	800 ... 1000
Fenoplast FKPM–15	200 ... 250	1200 ... 1500
Granit, diabaz gneys, kvartsit	30 ... 50	1200 ... 2600
Qum tosh	20	400 ... 1500
G‘isht	–	75 ... 300
Beton	–	50 ... 350
Muz 0 dan -30 ⁰ va undan past: chuchuk suv	–	4.5 ... 15
1 – 2% tuzli suv	–	4 ... 13,5
3 – 6% tuzli suv	–	3 ... 10,5

«Stekloplastik» materiallar mo‘rt materiallar bo‘lsa ham ular tolalari bo‘yicha tekshirilganda haqiqiy $\sigma \sim \varepsilon$ diagrammasi ideallashtirilgan diagrammalar bilan ustma-ust tushadi. Xvoyli daraxt uchun 4.14-rasmda keltirilgan diagrammada materialning anizotroplik xususiyati yaqqol ko‘zga tashlanadi: *a* – tola bo‘yicha siqilganda, *b* – ko‘ndalang siqilganda.



4.14-rasm. Xvoyli daraxt uchun siqilishda ideallashtirilgan diagramma:
a) tola bo‘yicha siqilganda; b) tolaga ko‘ndalang siqilganda.

Quruq qarag‘ay yog‘ochi uchun tola bo‘ylab siqilishdagi proporsionallik chegarasi o‘rtacha $\sigma_{p.ch.} = 350 \dots 400 \text{ kgk/sm}^2$, elastiklik moduli $E = 1,1 \cdot 10^5 \text{ kg/sm}^2$ ni tashkil etadi. Tolalarga ko‘ndalang siqishda proporsionallik chegarasi taxminan $\sigma_{p.ch.} = 50 \text{ kgk/sm}^2$ ni, elastiklik moduli $E = 5000 \text{ kgk/sm}^2$ ni tashkil etadi. Bu materialni tolalari bo‘ylab cho‘zilishdagi proporsionallik chegarasi, siqilishdagiga nisbatan taxminan ikki marta katta. Cho‘zilishdagi elastiklik moduli siqilishga nisbatan ancha katta, ammo hisoblash ishlarida qarag‘ay yog‘ochining siqilishdagi xarakteristikalarini olinadi.

4.14-rasmdan ko‘rinib turibdiki, tolalari bo‘ylab siqilish diagrammasi $\sigma \sim \varepsilon$ mo‘rt materiallarga xos, tolalarga ko‘ndalang siqilish diagrammasi $\sigma \sim \varepsilon$ esa plastik

materiallarga xosdir. Tolasimon tuzilishga ega qurilish materiali bo'lgan daraxtlarda cho'zilishdagi mustahkamlik siqilishdagiga qaraganda ancha kattaroq bo'ladi.

Cho'zilishi va siqilish deformatsiyasida potentsial energiya. Xususiy og'irlikni hisobga olish.

Reja:

- 1. Cho'zilish va siqilishda potentsial energiya.**
- 2. Sterjenlarning o'z og'irliklarini hisobga olish.**

Sterjenga qo'yilgan yuk shu yuk qo'yilgan kesimdagi A nuqtasining ko'chishida ish bajaradi. Jism materiali akkumulyator singari potentsial energiyani to'playdi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra

$$A = T + U$$

Sterjenga qo'yilgan kuch statik tarzda ta'sir etsa, sterjen zarralarining tezligi taxminan nolga deb olinishi mumkin, demak $T=0$ bo'ladi, bunda yuqoridagi formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$A = U$$

Shunday qilib, deformatsiyaning potentsial energiyasi miqdor jio'atidan tashqi kuchlarning bajargan ishiga tengdir. (8 - shakl)

Endi sterjenning A nuqtasiga statik tarzda qo'yilgan kuchning shu sterjenni A nuqtasidan A_1 nuqttagacha cho'zishda bajargan ishini topamiz. Sterjenga qo'yilgan R kuch t vaqt davomida ta'sir qilishi natijasida sterjen Δl miqdorga cho'ziladi. Agar R kuchga yana dP ortirma bersak sterjen dt vaqt ichida qo'shimcha $d(\Delta l)$ Cho'zilishga ega bo'ladi. Ana shu keyingi Cho'zilishda tashqi kuch bajargan elementar ish quyidagicha aniqlanadi:

$$dA = (P + dP)d(\Delta l) = Pd(\Delta l) + dPd(\Delta l)$$

Bu ifodaning o'ng tomonidagi ikkinchi hadi, ya'ni $dPd(\Delta l)$ ikkinchi tartibli son bo'lganligidan uni e'tiborga olmaymiz, demak, $dA = Pd(\Delta l)$, yoki $A = U = P(\Delta l)^2$

$$U = P^2 l^2 / 2EF = EF(\Delta l)^2 / 2l = \sigma^2 F l / 2E$$

Sterjenning birlik o'ajmiga to'g'ri kelgan potentsial energiya solishtirma potentsial energiya deyiladi va uni a harfi bilan belgilanadi.

$$a = U / V = \sigma^2 / 2E$$

yoki uni kuchlanish va deformatsiya orqali ifodalasak quyidagi formula hosil bo'ladi.

$$a = \sigma \varepsilon / 2$$

Agar sterjen pog'onali bo'lsa, potentsial energiyani formulasi bunday yoziladi:

$$U = \sum \frac{N_i L_i}{2EF_i}$$

Xuddi shuningdek, tashqi kuchlarning bajargan ishlari quyidagicha aniqlanadi:

$$A = R_i \Delta l_i / 2$$

Juda uzun sterjenlar (tros, zanjir va boshqalar) yoki vazmin bruslar (qalin devor, ko'prik tayanchlarining ustunlari va boshqalar)ning o'z og'irligini hisobga olmay bo'lmaydi. Bir uchi bilan mahkamlangan uzun sterjenga cho'zuvchi R kuch qo'yilgan bo'lsin. Brusning erkin uchiga x masofada turgan kesimida hosil bo'lgan normal kuchlanishni aniqlash uchun uni x masofada kesib, pastki qismining muvozanatini tekshiramiz:

$$\Sigma X = \sigma_x F - P - \gamma Fx = 0, \text{ bundan}$$

$$\sigma_x = (P + \gamma Fx) / F$$

bo'ladi. Agar $x = 0$ bo'lsa, $\sigma_x = P/F$ bo'ladi, ya'ni brusning og'irligini e'tiborga olmagandagi kuchlanish formulasi chiqadi. Sterjenning mahkamlangan kesimi eng xavfli kesim bo'lib, undagi normal kuchlanishni topish uchun yuqorida chiqarilgan formuladagi x ning o'rniga L ni qo'yamiz, bu kuchlanish maksimal kuchlanish bo'ladi

$$\sigma_{\max} = (P + \gamma Fl) / F$$

bunda γ - sterjen materialining solishtirma og'irligi, F- sterjen ko'ndalang kesimining yuzi.

Sterjenning mustahkamlik sharti qo'yidagicha yoziladi:

$$\sigma_{\max} = (P + \gamma Fl) / F \leq [\sigma]$$

Sterjenning eng xavfli kesim yuzi:

$$F \geq P / ([\sigma] - \gamma l)$$

Agar $R=0$ bo'lsa, sterjenning uchidan x masofada turuvchi kesimning o'z og'irligidan hosil bo'ladigan kuchlanish qo'yidagi formuladan topiladi:

$$\sigma_x = Q_x / F = \gamma Fx / F = \gamma x$$

Bu formuladan ko'rinadiki, o'zgarmas kesimli sterjenning kuchlanishi kesim yuziga bog'lik emas ekan. Agar normal kuchlanish σ_x sterjen materialining uzilgan vaqtiga to'g'ri kelgan kuchlanish σ_v ga etsa formula qo'yidagicha yoziladi:

$$\gamma l = \sigma_v$$

bunda γl - sterjenning o'z og'irligidan uzilgan vaqtiga to'g'ri kelgan uzunligi deyiladi va uning qiymati qo'yidagi formuladan aniqlanadi:

$$l_k = \sigma_v / \gamma$$

Endi sterjenning deformatsiyasini topamiz, bu maqsadda uning uchidan x masofada joylashgan va uzunligi dx bo'lgan cheksiz kichik bir element ajratamiz: bu elementning absolyut cho'zilishini Guk qonuniga binoan aniqlaymiz:

$$\Delta(dx) = Q_x dx / EF = F dx / EF = \gamma x dx / E$$

Sterjenning absolyut cho'zilishi esa qo'yidagicha topiladi:

$$\Delta l = \int_0^l \gamma x dx / E = \gamma l^2 / 2E = \gamma F l^2 / 2EF$$

bunda $\gamma F l$ - sterjenning o'z og'irligi bo'lganidan uni Q harfi bilan belgilasak ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\Delta l = Ql / 2EF$$

Ma'lumki, sterjenning cho'zuvchi R kuch ta'siri natijasidagi absolyut cho'zilishi RL / EF teng. Bundan ko'rinadiki, sterjenning o'z og'irligidan hosil bo'lgan absolyut cho'zilish sterjen og'irligiga teng ammo uning uchiga qo'yilgan kuchdan hosil bo'ladigan absolyut cho'zilishiga qaraganda ikki baravar kam bo'lar ekan. Kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipiga ko'ra, sterjenning to'la cho'zilishi quyidagi formuladan topiladi:

$$\Delta l = Pl / EF = Ql / 2EF = (P=Q/2)l / EF$$

Ushbu paragrafda keltirilgan formula sterjenning o'z og'irligidan siqilishi uchun ham yaraydi.

Nazorat savollari:

8. Absolyut cho'zilish (siqilish) nima?
9. Nisbiy cho'zilish nima va uning o'lchamlari qanday topiladi?
10. Guk qonuni nimadan iborat va uning matematik ifodasi qanday yoziladi?
11. Cho'zilish va siqilishda elastiklik moduli nimani xarakterlaydi?
12. Cho'zilish va siqilishda bikrlilik nima?
13. Bikrlilik koeffitsienti nima?
14. Puasson koeffitsienti nima?

Cho'zilish va siqilish deformatsiyasida hosil bo'luvchi statik noaniq sterjenlar sistemasi.

Sterjenlarda hosil bo'ladigan zo'riqish kuchlarining soni yoki sistemada hosil bo'ladigan no'malum reaksiya kuchlarining soni statikaning muvozanat tenglamalari sonidan ortiq bo'lgan sistema aniqmas sistema deb ataladi. Bunday sistemalarning sterjenlaridagi no'malum zo'rikish kuchlarini yolg'iz statikaning muvozanat tenglamalaridan aniqlab

bo'lmaydi, shuning uchun bunday masalalarga statik aniqmas masalalar deyiladi. Statik aniqmas masalalarni yechish uchun statikaning muvozanat tenglamalari tuziladi, so'ngra "ortiqcha" no'malumlarining soni aniqlanadi, ya'ni noma'lum zo'riqish kuchlari statikaning shu masalaga tegishli muvozanat tenglamalaridan qancha ortiqligi topiladi. shundan keyin sistema deformatsiyasining shartidan foydalanib, qo'

shimcha tenglamalar tuziladi. Qo'shimcha tenglamalarning soni albatta "ortiqcha" noma'lumlar soniga to'g'ri kelishi kerak.

Masalaning statik aniqmaslik darajasi, undagi "ortiqcha" noma'lumlar soni bilan belgilanadi, masalan, "ortiqcha" noma'lumlar soni uchta bo'lsa, masala uch marta statik aniqmas deyiladi va hokazo.

Nazorat savollari:

1. Sterjinlarni o'z og'irliklarini hisobga olganda ularning ko'ndalang kesimi va deformatsiyalari qanday topiladi?

2. Bo'ylama kuchning bajargan ishi qanday topiladi?
3. Deformatsiyaning potentsial energiyasi nima?
4. Pog'onali bruslarda deformatsiyaning potentsial energiyasi qanday topiladi?
5. Solishtirma potentsial energiya qanday topiladi?

7- -Mavzu. Tekis kesim yuzalarining geometrik xarakteristikalar..

Reja:

1. Tekis kesim yuzalarning statik momentlari.
2. Tekis kesim yuzalarining inersiya momentlari.
3. Markazdan qochma inersiya momenti.

Tayanch so'z va iboralar:

Inersiya momenti, statik moment, markazdan qochma inersiya momenti, qutb inersiya momenti, murakkab shaklning og'irlik markazi.

Muammoli vaziyat, savol yoki topshiriq

Sterjen ko'ndalang kesimini shakli va joylashishi uning mustahkamligiga ta'sir etadimi?

Siqilish (Cho'zilish)ga ishlovchi qurilmaning mustahkamlik xossaligidan to'la foydalanish maqsadida ko'ndalang kesim og'irlik markazini bilish katta ahamiyatga ega. Murakkab shaklli ko'ndalang kesim yuzasining og'irlik markazi qanday aniqlanadi?

Koordinata o'qlari yo'nalishini o'zgarishi statik va inersiya momentlari ishoralarini o'zgarishiga qanday ta'sir ko'rsatadi?

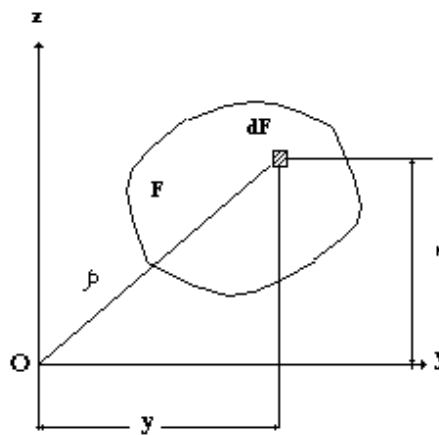
Sterjenning turli xil deformatsiyalarga qarshilik ko'rsatishi ko'p hollarda uning materiali va o'lchovlaridan tashqari, ko'ndalang kesim shakliga xam bog'liqdir. Quyida ko'ndalang kesimning asosiy geometrik xarakteristikalarini ko'rib chiqamiz.

1. Tekis kesim yuzalarning statik momentlari;
2. Tekis kesim yuzalarning inersiya momentlari.

Tekis kesim yuzalarning statik momentlari.

To'g'ri burchakli koordinatalar sistemasida ixtiyoriy shaklni ko'rib chiqamiz. Koordinatalari y, z bo'lgan dF yuzali elementni ajrataylik.

Biror o'qqa nisbatan kuchlardan olingan moment singari, yuzadan ham moment ifodasini tuzsak, $S_Y = \int_F z dF$, $S_Z = \int_F y dF$ bo'ladi. Bu ifoda statik moment deyiladi.



19 - shakl

Tekis kesim yuzasining o'qqa nisbatan statik momenti deb, yuza tashkil topgan elementar yuzachalar bilan bu yuzachalardan o'qqacha bo'lgan masofalar ko'paytmalaridan tuzilgan yig'indiga aytiladi.

Statik momentlar uzunlik o'lchovining uchinchi darajasi bilan o'lchanadi (sm^3, mm^3). Statik moment o'qlarning vaziyatiga qarab musbat, manfiy va nol bo'lishi mumkin.

Agar tekis kesim yuzasi og'irlik markazining koordinatalari ma'lum bo'lsa (Z_c va Y_c), u holda bu yuzaning statik momentlari quyidagi ifodalardan topiladi.

$$S_z = y_c F \quad S_y = z_c F$$

Agar biror kesimning statik momentlari va yuzasi ma'lum bo'lsa, kesim og'irlik markazining koordinatalari quyidagi formulalar yordamida topiladi.

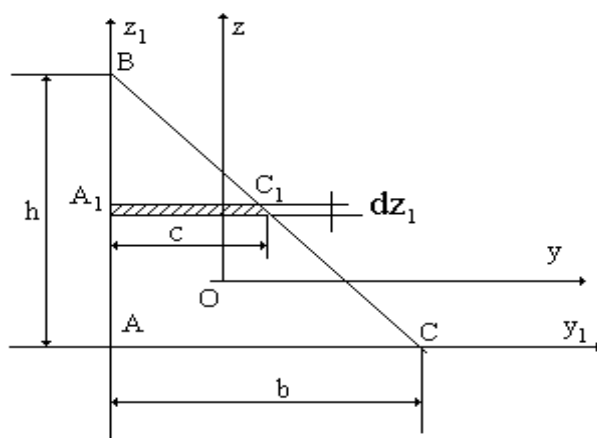
$$y_c = \frac{S_z}{F}, \quad z_c = \frac{S_y}{F}.$$

Yuqoridagi formuladan, tekis kesim yuzalarining o'z markaziy o'qlariga nisbatan statik momentlarini nolga tengligi kelib chiqadi.

Misol tariqasida uchburchakning asosidan o'tuvchi o'qqa nisbatan statik momentini hisoblaylik. y masofada z o'qiga parallel bo'lgan elementar yuzacha ajratib olamiz.

Masala. To'g'ri burchakli ABC uchburchakning yuzasining katetlariga parallel bo'lgan markaziy OY va OZ o'qlariga nisbatan markazdan qochma inersiya momentlari va asosiga nisbatan inersiya momentlari hisoblansin.

Yechish: Avvalo uchburchakning katetlaridan o'tuvchi o'qlarga nisbatan markazdan qochma inersiya momentlarini topamiz.



$$I_{y_1 z_1} = \int_F y_1 z_1 dF \quad \text{bunda } dF = c \cdot dz_1 \quad \text{ABS va } A_1B \text{ } S_1$$

o'xshash uchburchaklardan: $C = \frac{b}{h}(h - z_1)$ ni topamiz, bundan

$$y_1 = \frac{c}{2} = \frac{b}{2h}(h - z_1) \quad \text{bo'ladi.}$$

$$I_{y_1 z_1} = \int_F y_1 z_1 dF = \frac{b^2}{2h^2} \int_0^h (h - z_1)^2 z_1 dz_1 = \frac{b^2}{2h^2} \left[\frac{h^4}{2} - \frac{2h^3}{3} + \frac{h^4}{4} \right]$$

yoki $I_{y_1 z_1} = \frac{b^2 h^2}{24}$ bo'ladi. O'qlarni parallel ko'chirish formulasiga ko'ra

$$I_{yz} = I_{y_1 z_1} - abF = \frac{b^2 h^2}{24} - \frac{b}{3} \cdot \frac{h}{3} \cdot \frac{bh}{2} = \frac{b^2 h^2}{24} - \frac{b^2 h^2}{18} = -\frac{b^2 h^2}{72}$$

yoki $I_{yz} = -\frac{b^2 h^2}{72}$ bo'ladi.

Endi uchburchakning asosidan o'tgan OY_1 o'qqa nisbatan inersiya momenti

$$I_{y_1} = \frac{bh^3}{12}$$

$$dF = b(y)dy.$$

z o'qidan y masofada joylashgan elementar yuzachaning eni

$$b(y) = \frac{b}{h}(h - y).$$

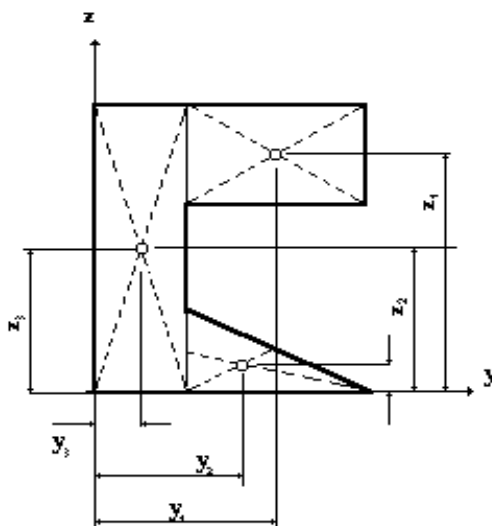
$$\text{Demak, } S_z = \int_F y dF = \frac{b}{h} \int_0^h y(h - y) dy = \frac{bh^2}{6}.$$

Bu masalaning ikkinchi yechimi:

$$F = \frac{1}{2}bh, y_c = \frac{1}{3}h,$$

Demak,

$$S_z = \frac{1}{2}bh * \frac{1}{3}h = \frac{bh^2}{6}.$$



20 - shakl

Murakkab shaklning statik momentlarini aniqlash uchun uni oddiy shakllarga ajratib, bu shakllarning statik momentlarini aniqlaymiz. Butun shaklning statik momenti oddiy shakllarning statik momentlarini algebraik yig'indisiga teng.

$$S_z = F_1 y_1 + F_2 y_2 + \dots + F_n y_n = \sum_{i=1}^n F_i y_i$$

$$S_y = F_1 z_1 + F_2 z_2 + \dots + F_n z_n = \sum_{i=1}^n F_i z_i$$

Statik moment ma'lum bo'lsa shaklning og'irlik markazini koordinatalari quyidagi formuladan topiladi.

$$z_c = \frac{S_y}{F}; y_c = \frac{S_z}{F};$$

11.2. Tekis kesim yuzalarining inersiya momentlari.

Tekis kesim yuzasining o'qqa nisbatan inersiya momenti deb, yuza tashkil topgan elementar yuzachalar bilan bu yuzachalardan o'qqacha bo'lgan masofalar kvadratlarining ko'paytmalaridan tuzilgan yig'indiga aytiladi.

OY va OZ o'qlarga nisbatan tekis kesim yuzasining inersiya momentlari quyidagicha topiladi:

$$I_Z = \int_F y^2 dF \quad I_Y = \int_F z^2 dF$$

Tekis kesim yuzasining qutb inersiya momenti deb, yuza tashkil topgan elementar yuzachalar bilan bu yuzachalardan qutb deb ataluvchi nuqtagacha bo'lgan masofalar kvadratlarining ko'paytmalaridan tuzilgan yig'indiga aytiladi:

$$I_p = \int_F \rho^2 dF$$

Inersiya momentlarining o'lchov birligi uzunlik o'lchovini turtinchi darajasi bilan o'lchanadi (sm^4 , mm^4 , ...).

Kesim yuzasining qutb va o'qlarga nisbatan inersiya momentlari orasidagi bog'lanishni topamiz.

$$\rho^2 = y^2 + z^2,$$

u holda

$$I_p = \int_F \rho^2 dF = \int_F (y^2 + z^2) dF = \int_F y^2 dF + \int_F z^2 dF \quad \text{bo'ladi.}$$

O'zaro tik o'qlarga nisbatan inersiya momentlarining yig'indisi, koordinata boshiga nisbatan qutb inersiya momentiga teng ekan. Qutb va o'qqa nisbatan inersiya momentlari doimo musbat bo'ladi.

11.3. Markazdan qochma inersiya momenti.

Tekis kesim yuzasining markazdan qochma inersiya momenti deb, yuza tashkil topgan elementar yuzachalar bilan bu yuzachalardan o'qlargacha bo'lgan masofalar kvadratlarining ko'paytmalaridan tuzilgan yig'indiga aytiladi.

$$I_{zy} = \int_F yz dF$$

O'qlarga nisbatan markazdan qochma inersiya momenti musbat, manfiy va nol bo'lishi mumkin.

Koordinata o'qlarini burib, ularning shunday bir holatini topish mumkinki ularga nisbatan markazdan qochma inersiya momenti nolga teng bo'lsin. Bu o'qlarga bosh inersiya o'qlari, ularga nisbatan olingan inersiya momentlariga esa bosh inersiya momentlari deyiladi.

Ikkita o'zaro tik bo'lgan o'qlardan biri simmetriya o'qi bo'lsa bu o'qlar bosh markaziy inersiya o'qlari deyiladi.

Nazorat savollari:

1. Tekis shakl yuzining statik momenti deb nimaga aytiladi? Uning o'lchov birligi nima?
2. Tekis shakl yuzining statik momentlari qanday o'qlarga nisbatan nolga teng bo'ladi?
3. Murakkab shakl yuzining statik momenti qanday formula bilan topiladi?
4. Murakkab shakl yuzining og'irlik markazining koordinatalari qanday formula orqali topiladi?
5. Tekis shakl yuzining o'qiy va qutb inersiya momentlari deb nimaga aytiladi va ular nima bilan o'lchanadi?
6. O'qiy va qutb inersiya momentlari manfiy qiymatga ega bo'la oladimi?
7. Tekis kesim yuzalarini markazdan qochma inersiya momentlari deb nimaga aytiladi va u qanday ishoralarga ega bo'ladi?

O'qlar burilganda inertsia momentini o'zgarishi. Bosh o'qlar va bosh inertsia momentlari.

Reja:

1. **Koordinata o'qlari burilganda inersia momentlarining o'zgarishi.**
2. **Bosh inersia o'qlari va bosh inersia momentlari.**

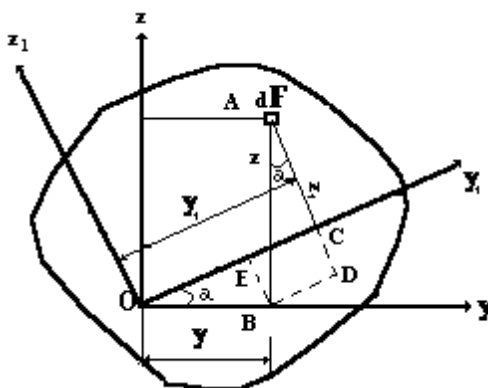
Tayanch so'z va iboralar:

Koordinata o'qlari orasidagi burchak, bosh inersia o'qlari, bosh inersia momentlari, markaziy bosh inersia momentlari, bosh markaziy o'qlar, inersia radiuslari, inersia ellipsi.

Muammoli vaziyat, savol yoki topshiriq

1. Kesim tekisligining og'irlik markazidan o'tuvchi o'zaro tik bir necha o'qlar o'tkazilgan, ularning qaysi biriga nisbatan inersia momenti eng kichik qiymatga ega?
2. Inersia momentlarini aniqlashda murakkab shakl nima maqsada oddiy shakllarga bo'linadi?
3. Ikkita o'zaro tik o'qlarga nisbatan inersia momentlarining yig'indisi o'qlar burilganda o'zgaradimi?

YUzasi F bo'lgan tekis shakl uchun ixtiyoriy yOz kordinatalar sistemasini olamiz. Oy va Oz o'qlarga nisbatan inersia momentlari I_y , I_z , I_{yz} hisoblangan bo'lsin. Oy va Oz o'qlarini ixtiyoriy burchakka buramiz (soat strelkasining yunalishiga teskari- musbat)



25 - shakl

Yangi y_1Oz_1 koordinatlar sistemasiga nisbatan $I_{y_1}, I_{z_1}, I_{y_1z_1}$ inersiya momentlarini aniqlaylik. Buning uchun eski va yangi o'qlarga nisbatan koordinatlar orasidagi bog'lanishlarni topamiz.

$$y_1 = \overline{OC} = \overline{OE} + \overline{EC} = \overline{OE} + \overline{BD} = y \cos \alpha + z \sin \alpha$$

$$z_1 = \overline{AC} = \overline{AD} - \overline{CD} = \overline{AD} - \overline{DE} = z \cos \alpha - y \sin \alpha$$

Tekis kesim yuzining yangi o'qlarga nisbatan inersiya momentlarini topamiz

$$I_{y_1} = \int_F z_1^2 dF = \int_F (z \cos \alpha - y \sin \alpha)^2 dF = \cos^2 \alpha \int_F z^2 dF - 2 \sin \alpha \cos \alpha \int_F yz dF + \sin^2 \alpha \int_F y^2 dF$$

yoki

$$I_{y_1} = I_y \cos^2 \alpha + I_z \sin^2 \alpha - I_{yz} \sin 2\alpha.$$

Xuddi shuningdek:

$$I_{z_1} = I_z \cos^2 \alpha + I_y \sin^2 \alpha + I_{yz} \sin 2\alpha.$$

Markazdan qochma inersiya momenti:

$$I_{y_1z_1} = \int_F (y \cos \alpha + z \sin \alpha)(z \cos \alpha - y \sin \alpha) dF = \frac{I_y - I_z}{2} \sin 2\alpha + I_{yz} \cos 2\alpha$$

SHunday qilib:

$$I_{y_1} = I_y \cos^2 \alpha + I_z \sin^2 \alpha - I_{yz} \sin 2\alpha.$$

$$I_{z_1} = I_z \cos^2 \alpha + I_y \sin^2 \alpha + I_{yz} \sin 2\alpha.$$

$$I_{y_1z_1} = \frac{I_y - I_z}{2} \sin 2\alpha + I_{yz} \cos 2\alpha$$

O'zaro tik o'qlar burilganda bu o'qlarga nisbatan olingan inersiya momentlarining yig'indisi o'zgarmas miqdor bo'lib, qutb inersiya momentiga tengdir.

$$I_{y_1} + I_{z_1} = I_y + I_z = I_p$$

Bosh inersiya o'qlari va bosh inersiya momentlari

Burchak o'zgarishi bilan I_{y_1}, I_{z_1} va $I_{y_1 z_1}$ lar ham o'zgaradi. Biror α_0 burchakda ular ekstremal qiymatga erishadi. I_{y_1}, I_{z_1} inersiya momentlarining ekstremal qiymatlariga to'g'ri kelgan Oy_1 va Oz_1 o'qlarining vaziyatlarini aniqlovchi α_0 burchakni topish uchun yuqoridagi formuladan hosila olib nolg tenglashtiramiz:

$$\frac{dI_{y_1}}{d\alpha} = -2I_y \sin \alpha_0 \cos \alpha_0 + 2I_z \sin \alpha_0 \cos \alpha_0 - 2I_{yz} \cos 2\alpha_0 = 0$$

yoki

$$(I_z - I_y) \sin 2\alpha_0 = 2I_{yz} \cos 2\alpha_0,$$

Bundan

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2I_{yz}}{I_z - I_y},$$

hosil bo'ladi.

Bu formuladan α_0 bir-biridan 90° ga farq qiluvchi ikki qiymat chiqadi. Bu qiymatlar ikki o'qning vaziyatini aniqlaydi: ulardan biriga nisbatan inersiya momenti maksimal qiymatga ega bo'lsa, ikkinchisiga nisbatan minimal bo'ladi. Bunday o'qlar *bosh markaziy o'qlar* deb, bu o'qlarga nisbatan hisoblangan inersiya momentlari esa *bosh inersiya momentlari* deb ataladi.

Agar bosh o'qlarni u va v bilan belgilasak, u holda bosh inersiya momentlarini topish uchun quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$I_u + I_v = I_y + I_z = I_p$$

$$I_u - I_v = (I_y + I_z) \cos 2\alpha_0 - 2I_{yz} \sin 2\alpha_0$$

Markazdan qochirma inersiya momenti I_{yz} ning formulaga qo'yib, hosil bo'lgan tenglamani formulaga hadlab qo'shsak, bosh u o'qqa nisbatan olingan bosh inersiya momenti chiqadi:

$$I_u = \frac{I_y + I_z}{2} + \frac{I_y - I_z}{2} \cos 2\alpha_0 + \frac{I_y - I_z}{2} \frac{\sin 2\alpha_0}{\cos 2\alpha_0} = \frac{I_y + I_z}{2} + \frac{I_y - I_z}{2} \frac{1}{\cos 2\alpha_0}$$

Bundan $\frac{1}{\cos 2\alpha_0}$ ni, quyidagi ifoda bilan almashtiramiz:

$$\frac{1}{\cos 2\alpha_o} = \pm \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_o} = \pm \sqrt{1 + \frac{4I_{yz}^2}{(I_y - I_z)^2}}$$

U holda

$$\frac{I_u}{v} = \frac{I_{\max}}{\min} = \frac{1}{2} [(I_y + I_z) \pm \sqrt{(I_y - I_z)^2 + 4I_{yz}^2}]$$

bo'ladi.

Agar bu formuladagi ishoralarni bosh o'qlarga tegishli ishoralar bilan almashtirsak, quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$I_{uv} = \frac{1}{2} (I_y - I_z) \sin 2\alpha_o \pm I_{yz} \cos 2\alpha_o = 0..$$

Agar buni nolga tenglashtirsak, bosh o'qlar teng yo'nalishini aniqlovchi formula hosil bo'ladi:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_o = \frac{2I_{yz}}{I_z - I_y},$$

Bu esa u va v o'qlarning bosh o'qlar ekanligidan dalolat beradi. Demak, bosh o'qlarga nisbatan markazdan qochirma inersiya momenti nolga tengdir ($I_{uv} = 0$).

SHunday qilib bosh o'qlar quyidagi xususiyatlarga ega bo'ladi:

1. Bosh o'qlarga nisbatan markazdan qochirma inersiya momenti doimo nolga teng.
2. Bosh o'qlarga nisbatan inersiya momentlari ekstremal qiymatlarga ega.

Nazorat savolari:

1. O'qlar α burchakka burilganda o'qlar orasidagi bog'lanishni qanday aniqlanadi?
2. O'qlar α burchakka burilganda yangi o'qqa nisbatan tekis shakl yuzining inersiya momentlari qanday formula bilan topiladi?
3. Bosh o'qlarning yo'nalishlari qanday formula bilan aniqlanadi?
4. Tekis shakl yuzaning bosh inersiya momentlariga qanday inersiya momentlariga aytiladi va ularning qiymatlari qanday formula yordamida topiladi?
5. Qanday hollarda bosh o'qlarning vaziyatini hisoblamay turib topib bo'ladi?
6. Bosh o'qlarga nisbatan markazdan qochma inersiya momenti nimaga teng bo'ladi?
7. Inersiya radiuslari nima va u qanday o'lchanadi?
8. Inersiya ellipsi qanday chiziladi va u qanday xususiyatga ega?
9. Inersiya ellipsi qanday o'qlarga quriladi?

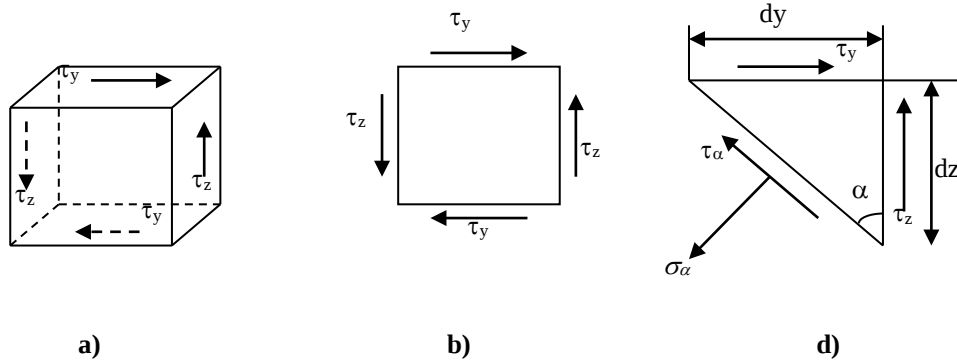
8-Mavzu: Sof siljish. Buralish. To'g'ri brusning buralishi.

Nuqta atrofidan ajratilgan elementar parallelepiped yuzalari bo'ylab faqat urinma kuchlanishlar ta'sir qilsa, bu holda materialda sof siljish deformatsiyasi hosil bo'ladi (5.5a,b-rasm).

Tik qirraga nisbatan α burchak ostida joylashgan yuzadagi (5.6d-rasm) normal va urinma kuchlanishlarni (5.5), (5.6) orqali aniqlasak, $\sigma_z = \sigma_y = 0$ bo'lganligi uchun

$$\sigma_\alpha = \tau_z \sin 2\alpha \quad (5.15)$$

$$\tau_\alpha = -\tau_z \cos 2\alpha. \quad (5.16)$$



5.5-rasm. Elementar parallelepipedning tekis kuchlanish holatidagi yon tomonlariga faqat urinma kuchlanishlar ta'sir etgan hol:
a,b) sof siljish deformatsiyasi; d) sof siljishda α burchak ostidagi kesimga ta'sir etayotgan kuchlanishlar.

Bu (5.16) formuladan ko'rinadiki, eng katta urinma kuchlanish $\alpha=0$ yoki $\alpha=90^\circ$ da hosil bo'lib, u ekstremal kuchlanishlar τ_z ga (yoki τ_y ga) teng bo'lishi mumkin. Bu kuchlanishlar yotgan yuzalar siljish yuzalari bo'lib, bu yuzalarga normal kuchlanishlar ta'sir qilmaganligi sababli, siljish yuzalaridan farqli ravishda, ular sof siljish yuzalari deb ataladi.

Sof siljishdagi bosh yuzalar va bosh kuchlanishlarning miqdorini topsak.

(5.10) ifodadan $\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\tau_z}{\sigma_z - \sigma_y} = \infty$, demak $2\alpha = 90^\circ$, $\alpha = 45^\circ$, ya'ni bosh yuzalar

sof siljish yuzalariga nisbatan 45° ga burilgan bo'ladi.

Bosh kuchlanishlarni (5.11) dan aniqlasak

$$\sigma_{\min}^{\max} = \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} \pm \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2} = 0 \pm \frac{1}{2} \sqrt{0 + 4\tau_z^2}$$

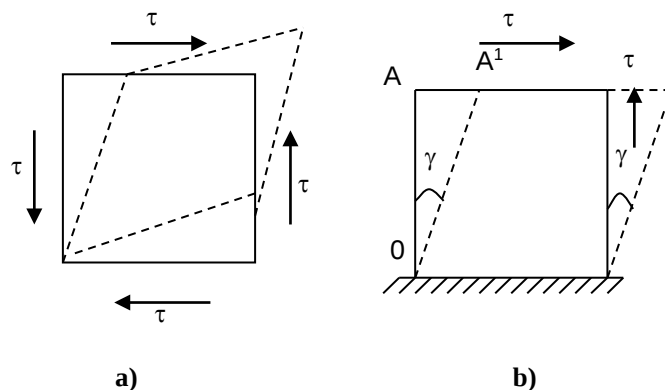
bo'lgani uchun

$$\sigma_{\max} = \tau_z, \sigma_{\min} = -\tau_z$$

bo'ladi.

Shunday qilib, sof siljishda bosh kuchlanishlarning miqdori o'zaro teng, yo'nalishlari esa qarama-qarshi ekanligini aniqladik.

Urinma kuchlanishlar ta'siridagi elementar parallelepiped (5.6-rasm) deformatsiyasini ko'ramiz.



5.6-rasm. Urinma kuchlanishlar ta'siridagi elementar parallelepiped:
a) urinma kuchlanish parallelepipedning barcha qirralariga ta'sir etgandagi deformatsiya; b) parallelepipedning pastki qirrasini mahkamlangan holdagi deformatsiya.

Bu holda parallelepipedning o'lchamlari o'zgarmaydi, faqat urinma kuchlanishlar ta'sirida deformatsiyalanadi (5.6-rasm), ya'ni shaklini o'zgartiradi. Deformatsiya kichik bo'lganligi sababli parallelepipedning pastki qirrasini qistirib mahkamlangan deb qarash mumkin (5.6b-rasm).

A A^1 kattalik, parallelepipedning deformatsiyasini ifodalab, absolyut siljish deyiladi. Nisbiy kattalik $\frac{AA^1}{AO} = \operatorname{tg} \gamma$ siljishdagi nisbiy deformatsiyani ifodalaydi, γ burchak esa siljish burchagi deyiladi. $\gamma \ll 1$ bo'lganligi uchun, $\operatorname{tg} \gamma \approx \gamma$ deb olamiz.

O'tkazilgan tajribalar siljishdagi urinma kuchlanish bilan nisbiy deformatsiya o'rtasida to'g'ri chiziqli bog'lanish mavjud ekanligini isbotlaydi, ya'ni

$$\tau = \gamma G \quad (5.17)$$

Bu (5.17) qonun siljishdagi Guk qonuni deyiladi.

G – siljishdagi elastiklik moduli yoki ikkinchi tur elastiklik moduli deyiladi. Ikkinchi tur elastiklik moduli ham, Yung moduli kabi kuchlanish o'lchov birligida o'lchanadi.

Birinchi va ikkinchi tur elastiklik modullari o'rtasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (5.18)$$

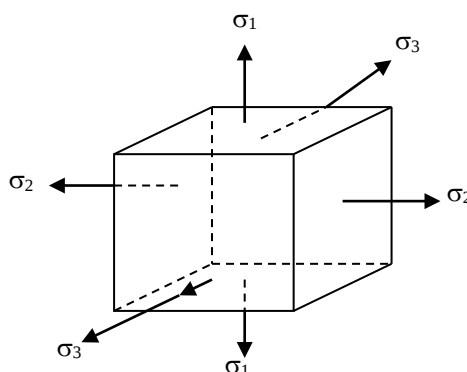
Bu yerda ν – Puasson koeffitsienti.

Jismdan qirralari cheksiz kichik bo'lgan parallelepiped ajratib (5.7-rasm), fazoviy holat uchun umumlashgan Guk qonunini ko'ramiz.

Parallelepipedning tomonlari bosh yuzalar bilan ustma-ust tushsin, bu holda uning tomonlariga faqat bosh kuchlanishlar σ_1 , σ_2 , σ_3 ta'sir qilib, qirralari shu bosh kuchlanishlar yo'nalishi bo'yicha deformatsiyalanadi. Bu qirralarni nisbiy deformatsiyalarini ε_1 , ε_2 , ε_3 deb belgilaymiz.

Bu holda umumlashgan Guk qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{1}{E}[\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E}[\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E}[\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)]\end{aligned}\quad (5.19)$$



5.7-rasm. Elementar parallelepipedning yon tomonlariga faqat bosh kuchlanishlar ta'sir etayotgan hol.

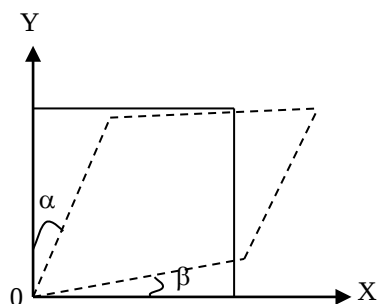
Bu nisbiy ε_1 , ε_2 , ε_3 deformatsiyalar faqat parallelepiped hajmini o'zgartirishga sabab bo'ladi.

Agarda parallelepiped tomonlari bosh yuzalar bilan ustma-ust tushmasa, u holda uning tomonlarida urinma kuchlanishlar τ ham paydo bo'lib (5.1-rasm), umumlashgan Guk qonuni quyidagicha yoziladi:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{1}{E}[\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E}[\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E}[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \\ \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G} \\ \gamma_{xz} &= \frac{\tau_{xz}}{G} \\ \gamma_{yz} &= \frac{\tau_{yz}}{G}.\end{aligned}\quad (5.20)$$

Bu yerda E – elastiklik moduli, G – siljishdagi elastiklik moduli, ν – Puasson koeffitsienti.

Bu yerda $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – x, y, z o‘qlari bo‘yicha paralelepiped qirralarining nisbiy bo‘ylama deformatsiyalari, $\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$ – nisbiy siljish deformatsiyalari bo‘lib, ular qirralar orasidagi to‘g‘riburchak o‘zgarishini ifodalaydi. Buni quyidagi misolda (5.8-rasm) ko‘rishimiz mumkin, paralelepipedni bitta tomonini olsak, u urinma kuchlar ta’sirida quyidagicha deformatsiylanadi:



5.8-rasm. Elementar paralelepipedning nisbiy siljish deformatsiyalari.

Bu holda

$$\gamma_{xy} = \alpha + \beta$$

bo‘ladi.

Bu siljish deformatsiyalari $\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$ lar faqat paralelepipedning shaklini o‘zgartirishga sabab bo‘ladi.

Bu (5.19), (5.20) ifodalar deformatsiyalar bilan kuchlanishlarni fazoviy kuchlanish holatida bog‘lovchi munosabatlar bo‘lganligi uchun umumlashgan Guk qonuni deb ataladi. Bu munosabatlar kuchlanishlarning qiymatlari proporsionallik chegarasidan oshmagandagina ma’noga ega.

Xususiyl hollarda (5.19), (5.20) munosabatlardan tekis va chiziqli kuchlanish holatlar uchun Guk qonuni kelib chiqadi.

Doiraviy vallarning buralishi. Kesimi doiraviy vallarning buralishida qabul qilingan asosiy farazlar.

Agar tashqi kuchlar ta’sirida sterjen ko‘ndalang kesimida, ichki kuchlarning burovchi moment M_z , ya’ni M_b (1.10-rasm) hosil bo‘lsa, bu holda buralish deformatsiyasi sodir bo‘ladi. Burovchi momentni sterjen uzunligi bo‘ylab o‘zgarishini ko‘rsatuvchi grafikka burovchi moment epyurasi deyilar edi (II-bob, 3-§). Buralish deformatsiyasi fazoviy konstruksiyalar, vintli prujinalar va boshqa konstruksiya elementlarida hosil bo‘ladi, lekin buralishga ishlovchi ko‘p tarqalgan elementlar – vallar hisoblanadi. Sof buralishga ishlovchi konstruksiya elementiga avtomobilning kardan valini misol qilish mumkin.

Tasmali, friksion va tishli uzatmali vallarda burovchi momentdan tashqari eguvchi moment ham paydo bo‘ladi. Bunday vallarning hisobi murakkab qarshilik bo‘limida o‘rganiladi.

Valga tashqi kuchlarning burovchi momenti dvigateldan berilayotgan bo'lsa, u holda valda hosil bo'ladigan burovchi momentni quyidagicha aniqlash mumkin:

a) agar quvvat N ot kuchida (o.k.) berilgan bo'lsa

$$M_b = 716,2 \frac{N}{n} \quad (7.1)$$

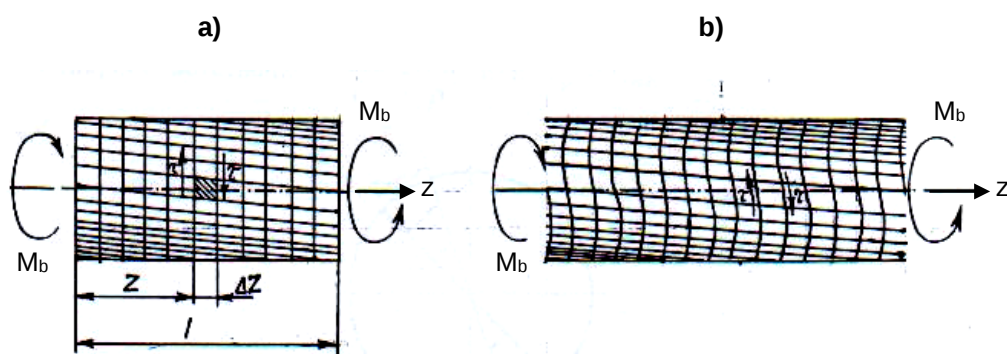
b) agar quvvat N kilovatda (kvt) berilgan bo'lsa

$$M_b = 973,6 \frac{N}{n} \quad (7.2)$$

Bu yerda n – valning bir minutda aylanishlar soni.

Buralish deformatsiyasini tekshiramiz. Buning uchun burovchi moment M_b bilan yuklangan doiraviy ko'ndalang kesimli sterjen sirtiga o'zaro tik (bo'ylama va ko'ndalang) chiziqlar to'ri chizib, uni burasak (7.1a-rasm), ko'ndalang to'g'ri chiziqlar to'g'riligicha qolib, bo'ylama chiziqlar bir xildagi γ burchakka og'adi. Sterjen sirtidagi to'g'ri to'rtburchaklar parallelogramm shaklini olib, har bir ko'ndalang kesim sterjen o'qi atrofida φ burchakka buriladi.

Agar to'g'ri to'rtburchak shaklidagi ko'ndalang kesimga ega bo'lgan sterjen buralsa, u holda uning ko'ndalang kesimlari tekis qolmasdan (7.1b-rasm), ko'ndalang kesimning nuqtalari bir-biriga nisbatan sterjen bo'ylama o'qi bo'ylab ko'chadi, ya'ni deplanatsiya deb ataluvchi hodisa ro'y beradi. Bu holda doiraviy kesimli sterjenlarda qo'llaniladigan tekis kesimlar gipotezasini qo'llab bo'lmaydi.



7.1-rasm. Yon tomonlariga to'g'ri chiziqlar chizilgan valning buralishi:

a) doiraviy kesimli val; b) to'g'ri to'rtburchak kesimli val.

Doiraviy kesimli sterjenlar buralishidagi kuchlanishlar

Doiraviy kesimli sterjenlar buralish masalasining nazariy yechimi birinchi bo'lib mashhur fransuz fizigi Kulon tomonidan olingan bo'lib, masalani yechishda quyidagi farazlar ishlatilgan:

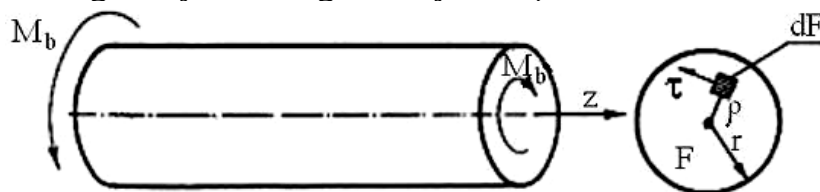
1. Deformatsiyadan keyin sterjen o'qi to'g'riligicha qoladi.

2. Sterjen ko'ndalang kesimi deformatsiyagacha va undan keyin ham tekisligicha qolib, o'qqa nisbatan normal joylashadi (tekis kesimlar gipotezasi), ular faqat o'qqa nisbatan ma'lum burchakka buriladi.

3. Ko'ndalang kesim radiuslari o'z uzunligini saqlab qoladi va egilmaydi.

4. Ko'ndalang kesimlar orasidagi (sterjen o'qi bo'ylab) masofa o'zgarmaydi.

Ikkita burovchi momentlar ta'siridagi ko'ndalang kesimlari doirasimon bo'lgan sterjen (7.2-rasm) buralishini ko'ramiz (sterjen chap uchidagi moment, qistirib mahkamlangan tayanchning reaksiyasidir).



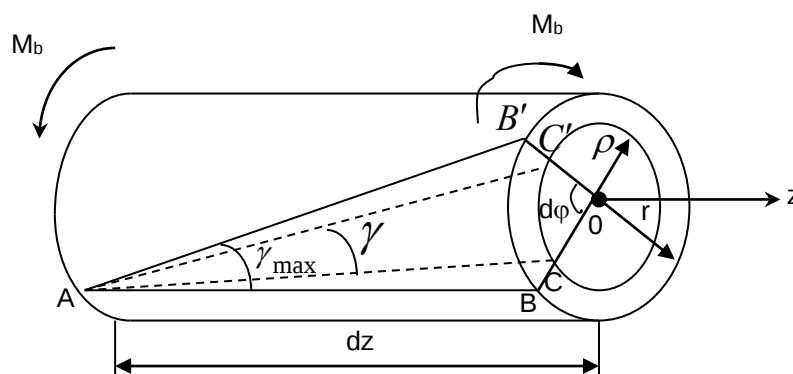
7.2-rasm. Doiraviy kesimli valnig buralishi.

Bu farazlar asosida buralishni ko'ndalang kesim yuzalarining bir-biriga nisbatan siljishlari natijasi deb qarash mumkin. Demak, u holda ko'ndalang kesim yuzalarida faqat urinma kuchlanish τ lar hosil bo'lib, normal kuchlanish $\sigma=0$ bo'ladi.

Agarda ko'ndalang kesim yuzasidan elementar yuzacha dF ajratsak, unga urinma kuchlanish τ ta'sir qiladi. Bu holda F yuzaga ta'sir qilayotgan urinma kuchlanishlar bilan sterjenga ta'sir qilayotgan burovchi moment M_b o'rtasida quyidagi bog'lanish borligini ko'ramiz:

$$M_b = \int_F \tau \cdot \rho \cdot dF \quad (7.3)$$

Buralish natijasida hosil bo'ladigan deformatsiyani kesim yuzasi bo'yicha qanday qonuniyat bilan o'zgarishini aniqlash uchun sterjendan uzunligi dz ga teng bo'lakcha ajratib, uni burovchi moment M_b bilan burasak, u holda quyidagi bog'lanishni aniqlashimiz mumkin.



7.3-rasm. Doiraviy valdan ajratib olingan cheksiz kichik uzunlikdagi qismning buralishi.

7.3-rasmdan

$$\gamma = \frac{CC'}{AB} = \frac{\rho d\varphi}{dz} \quad (7.4)$$

$$\gamma_{\max} = \frac{BB'}{AB} = \frac{r \cdot d\varphi}{dz} \quad (7.5)$$

bo'lad.

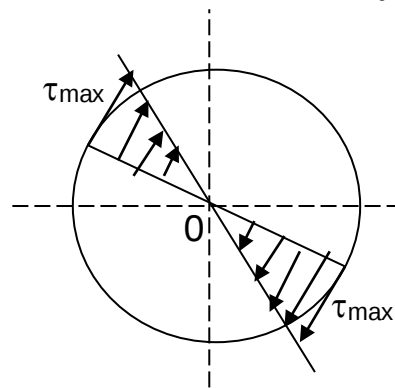
Siljishdagi Guk qonuniga asosan urinma kuchlanish

$$\tau = G\gamma = G \frac{\rho d\varphi}{dz} \quad (7.6)$$

Bu formuladan foydalanib, urinma kuchlanish τ ni sterjen ko'ndalang kesim yuzasi bo'yicha taqsimlanishini ko'radigan bo'lsak, u quyidagi ko'rinishga ega bo'lad (7.4-rasm):

$$\rho = 0: \quad \tau = 0;$$

$$\rho = r: \quad \tau = \tau_{\max} = G \frac{rd\varphi}{dz}$$



7.4-rasm. Sterjen ko'ndalang kesimida urinma kuchlanishning taqsimlanishi.

Burovchi moment M_b bilan urinma kuchlanish τ ni o'zaro bog'lash uchun (7.3) ga (7.6) ni olib borib qo'yamiz:

$$M_b = \int_F \tau \rho dF = \int_F G \frac{\rho d\varphi}{dz} \cdot \rho dF = G \frac{d\varphi}{dz} \int_F \rho^2 dF$$

Bu yerda, G – siljishdagi elastiklik moduli; $\int_F \rho^2 dF = I_\rho$ – doiraviy kesimning qutb inersiya momenti.

Shunga asosan

$$M_b = GI_\rho \frac{d\varphi}{dz} \quad (7.7)$$

bundan,

$$\frac{d\varphi}{dz} = \frac{M_b}{GI_\rho} \quad (7.8)$$

bo'lad.

(7.8) ni (7.6) ga olib borib qo'ysak, buralishda doiraviy kesimli sterjen ko'ndalang kesimining ixtiyoriy nuqtasida hosil bo'ladigan urinma kuchlanishni topish formulasi hosil bo'ladi, ya'ni

$$\tau = G\rho \frac{d\varphi}{dz} = G\rho \frac{M_b}{GI_\rho} = \frac{M_b \cdot \rho}{I_\rho} \quad (7.9)$$

ρ – ko'ndalang kesim markazidan kuchlanish aniqlanayotgan nuqttagacha bo'lgan masofa.

Ko'ndalang kesimda hosil bo'ladigan eng katta urinma kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$\tau_{\max} = \frac{M_b \cdot r}{I_\rho} = \frac{M_b}{\frac{I_\rho}{r}} = \frac{M_b}{W_\rho} \quad (7.10)$$

$W_\rho = \frac{I_\rho}{r}$ – qutb qarshilik momenti deyilib, mm^3 , sm^3 larda o'lchanadi.

Doiraviy kesimli sterjenning buralishdagi mustahkamlik sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\tau_{\max} = \frac{M_b}{W_\rho} \leq [\tau] \quad (7.11)$$

Agar sterjen kesimi doira shaklida bo'lsa, u holda

$$W_\rho = \frac{I_\rho}{r} \approx \frac{0,1d^4}{\frac{d}{2}} \approx 0,2d^3 \quad (7.12)$$

bo'ladi, chunki $I_\rho \approx 0,1d^4$.

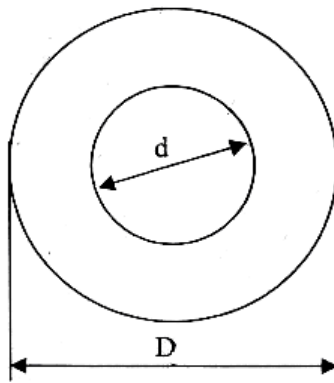
Halqasimon kesimli sterjen uchun (7.5-rasm)

$$W_\rho = \frac{I_\rho}{D/2} = 0,2D^3 \left(1 - \frac{d^4}{D^4} \right) \quad (7.13)$$

bo'ladi, chunki

$$I_\rho = 0,1D^4 - 0,1d^4 = 0,1(D^4 - d^4). \quad (7.14)$$

Bu yerda shuni ta'kidlash lozimki, halqaning qarshilik momentini tashqi va ichki doiralarning qarshilik momentlarini ayirmasi sifatida topish mumkin emas.



7.5-rasm. Halqasimon valning ko'ndalang kesimi.

Buralishdagi mustahkamlik sharti (7.11) dan foydalanib tashqi kuch va material berilganda valning kerakli diametrini aniqlash, berilgan diametr va material asosida ruxsat etilgan tashqi burovchi moment kattaligini topish, tashqi kuch va ko'ndalang kesimi o'lchamlari asosida sterjenning materialini tanlash mumkin.

9-Mavzu. Tekis egilish. Normal kuchlanishni hisoblash. Mustahkamlik shartlari.

Agar tashqi yuklamalar ta'sirida sterjen ko'ndalang kesimlarida shu ko'ndalang kesimga tik ichki kuchlar momenti hosil bo'lsa egilish yuzaga keladi. Agar sterjen kesimlarida faqat ichki kuchlar momenti – M hosil bo'lsa, sof egilish, momentdan tashqari ko'ndalang kuch Q ham hosil bo'lsa ko'ndalang egilish deyiladi.

Agar eguvchi moment tekisligi ko'ndalang kesim bosh inersiya o'qlari biri bilan ustma-ust tushsa to'g'ri egilish, ustma-ust tushmasa qiyshiq egilish deyiladi. Egri egilish holi «Murakkab qarshilik» bo'limida ko'riladi, bu bo'limda to'g'ri egilish o'rganiladi.

Egilishning cho'zish va buralishga nisbatan o'ziga xos jihati birinchidan deformatsiyada sterjen bo'ylama o'qi to'g'ri chiziq holida qolmaydi, ikkinchidan sterjen ko'ndalang kesimlarida turli ishorali siquvchi va cho'zuvchi normal kuchlanishlar albatta hosil bo'ladi.

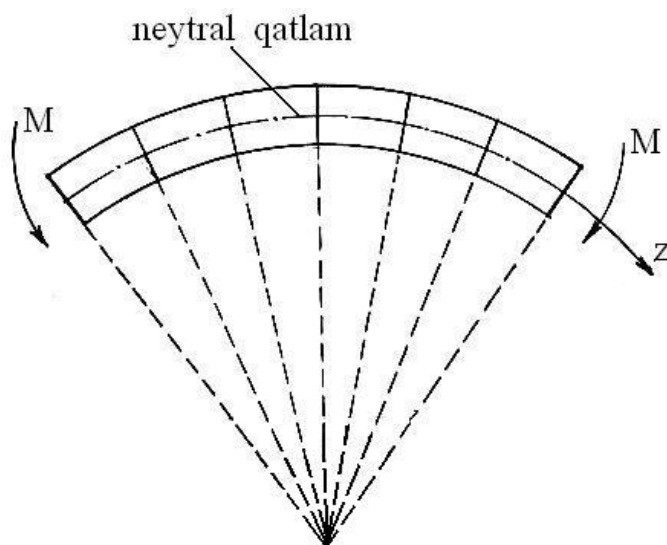
Qoida bo'yicha, egilayotgan sterjenlar ko'ndalang kesimida kamida bitta simmetriya o'qiga ega bo'ladi, shuning uchun hisoblashlarda tashqi yuklama yo'nalishi sterjen ko'ndalang kesimi simmetriya o'qi bilan ustma-ust tushadi deb faraz qilinadi.

II-bob 2.7-rasmda sof egilishdagi deformatsiya sxemasi ko'rsatilgan.

Deformatsiyalanishda sterjen to'ring bo'ylama qatlamlari egiladi, lekin parallelligicha qoladi, to'r tik chiziqlari esa to'g'ri chiziqligicha qolib, bir-biriga nisbatan buriladi. Tik chiziqlarni to'g'riligicha qolishi tekis kesimlar gipotezasini qo'llash mumkinligini tasdiqlaydi.

Sterjen yuqori qatlamlari cho'zilgan, pastki qatlamlari siqilgani 8.1-rasmdan ko'rinib turibdi. Bundan siqilgan va cho'zilgan qatlamlar o'rtasida uzunligi

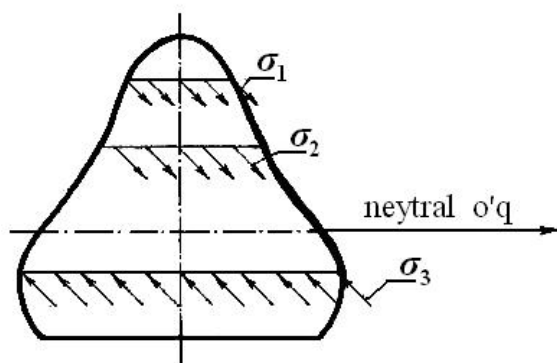
o'zgarmaydigan, mos ravishda kuchlanishdan xoli qatlam mavjudligi kelib chiqadi. Ushbu qatlam neytral qatlam deyiladi.



8.1-rasm. Sterjenning sof egilishi.

Ko'ndalang kesimdagi neytral qatlamdanda o'tuvchi o'q kesimni cho'zilgan va siqilgan sohalarga ajratadi. Bu o'qqa neytral o'q deyiladi.

Neytral o'qni x o'qi deb olamiz. Sterjen alohida qatlamlari siqilgan yoki cho'zilgan bo'lgani uchun, ko'ndalang kesimda σ normal kuchlanishlar hosil bo'ladi. Ta'sir etuvchi yuklanishga nisbatan kesimlar simmetrikligi shartidan neytral o'qqa parallel qatlamlarda normal kuchlanishlar o'zgarmas bo'ladi (8.2 rasm).

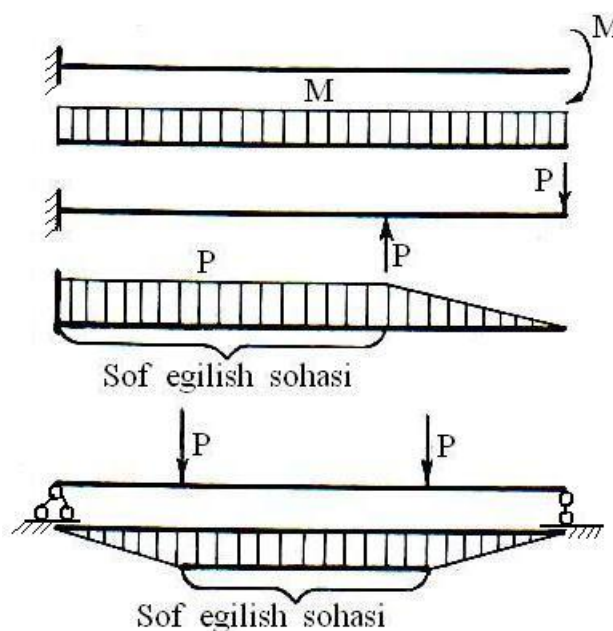


8.2-rasm. Sterjen ko'ndalang kesimida kuchlanishlarni taqsimlanishi.

Eguvchi moment neytral o'q indeksiga ega, ya'ni agar tashqi yuklama ta'sir chizig'i ko'ndalang kesim «y» o'qidan o'tsa, «x» o'qi neytral o'q bo'ladi va moment « M_x » orqali, agar «y» neytral o'q bo'lsa, moment mos ravishda « M_y » orqali belgilanadi.

Sof egilish. Sof va ko'ndalang egilishlar. Tekis kesim gipotezasi.

Sof egilish, yuqorida ko'rsatib o'tilganidek, sterjen ko'ndalang kesimida tashqi yuklamalar ta'siridan ichki kuchlarning M eguvchi momenti paydo bo'lsa va Q ko'ndalang kuch nolga teng bo'lsa hosil bo'ladi. 8.3-rasmda sof egilish hosil bo'luvchi sterjen sxemalari va epyuralariga misollar keltirilgan



8.3-rasm. Turli xil yuklamalar ta'siridan sof egilishning hosil bo'lishi.

Ikkita eguvchi moment bilan yuklangan sterjenni simmetriya o'qidan o'tuvchi kesimlar bilan ketma-ket kesamiz (8.4-rasm). Sterjenni necha bor kesmaylik, uning har bir ajratilgan bo'lagi simmetriya o'qiga ega. Cheksiz simmetriya o'qlariga ega bo'lgan egri chiziq aylana bo'lgani uchun sof egilishda sterjenning neytral qatlamini ham qo'shgan holda barcha qatlamlari aylana shaklini oladi.

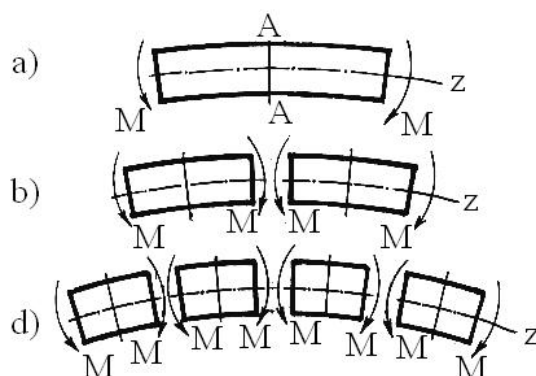
Egilgan sterjendan dz uzunlikdagi element ajratib, uning muvozanatini ko'ramiz (8.5-rasm). $O - O^1$ – bu uzunligi o'zgarmaydigan neytral qatlam. Neytral qatlamdan y masofadagi AA^I qatlam AA^{II} ga uzayadi. $O^I OC$ va $A^{II} A^I O^I$

uchburchaklar o'xshashligidan $\frac{A^I A^{II}}{y} = \frac{OO^I}{\rho} = \frac{A^I A^{II}}{OO^I} = \varepsilon$ neytral o'qdan y

masofada yotuvchi qatlami nisbiy bo'ylama deformatsiyasini topamiz. $\varepsilon = \frac{y}{\rho}$, Guk

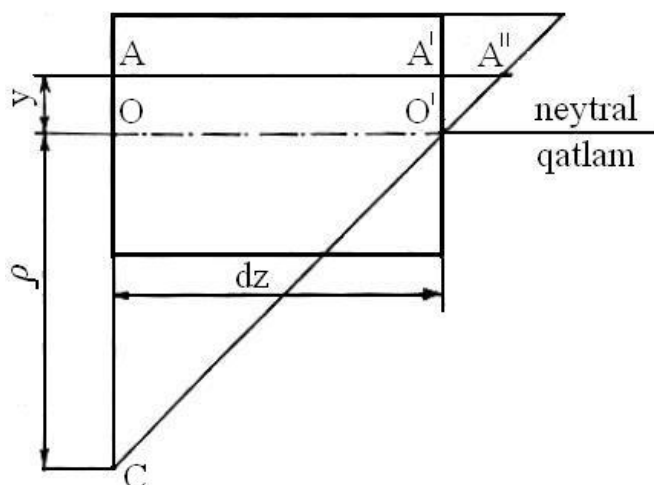
qonunidan $\frac{\sigma}{E} = \frac{y}{\rho}$, bu yerdan qatlamda hosil bo'luvchi normal kuchlanish

$$\sigma = \frac{yE}{\rho}$$



8.4-rasm. Sof egilish deformatsiyasida neytral qatlam sterjen o'qiga tik tekisliklar bilan kesilgan:

a) bitta tekislik bilan; b) ikkita tekislik bilan; d) to'rtta tekislik bilan.



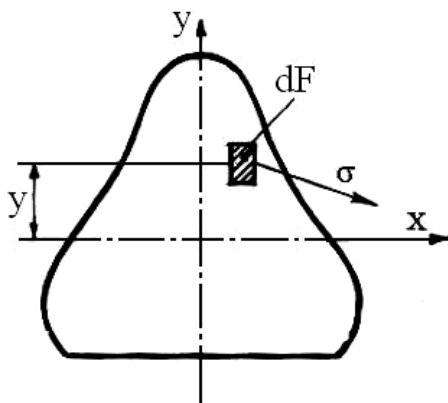
8.5-rasm. Sof egilishda normal kuchlanishlarni aniqlash.

IV-bobda ko'rsatilganidek $N = \int_F \sigma dF$ (8.6-rasm).

Ya'ni $N = \int_F \frac{yE}{\rho} dx$, chunki $\frac{E}{\rho} = const$, u holda $N = \frac{E}{\rho} \int y dx$

Sof egilishda ko'ndalang kesimdagi ichki bo'ylama kuch N nolga teng, $\frac{E}{\rho} \neq 0$, demak $\int y dx = 0$. (3.1) dan $\int y dF = S_x$ – neytral «x» o'qiga nisbatan

ko'ndalang kesim yuzasining statik momenti. Kesim og'irlik markazidan o'tuvchi o'qqa nisbatan statik moment nolga teng. Bundan neytral o'q kesim og'irlik markazidan o'tishi kelib chiqadi.



8.6-rasm. Sterjenning ko'ndalang kesim yuzasiga ta'sir etuvchi kuchlanish.

«y» o'qiga nisbatan ichki kuchlar momenti $M_y = \int_F \frac{E}{\rho} xy dF$ ifodadan aniqlanadi, ammo momentning ta'sir tekisligi «y» o'qi orqali o'tgani uchun $M_y = 0$ bo'ladi. $\frac{E}{\rho} \neq 0$ bo'lgani uchun $\int_A xy dF = 0$. Bu yerdagi $\int_F xy dF$ ifoda ko'ndalang kesimning «x», «y» o'qlariga nisbatan markazdan qochma inersiya momentiga teng ob), hamda bosh o'qlarga nisbatan markazdan qochma inersiya momentlari nolga teng. Demak «y» o'qi shartga ko'ra markaziy o'q edi, endi bosh o'q ham bo'ladi, mos ravishda kesim og'irlik markazidan o'tuvchi x neytral o'qi ham simmetriya o'qiga tik bo'lib inersiya bosh markaziy o'qi bo'ladi.

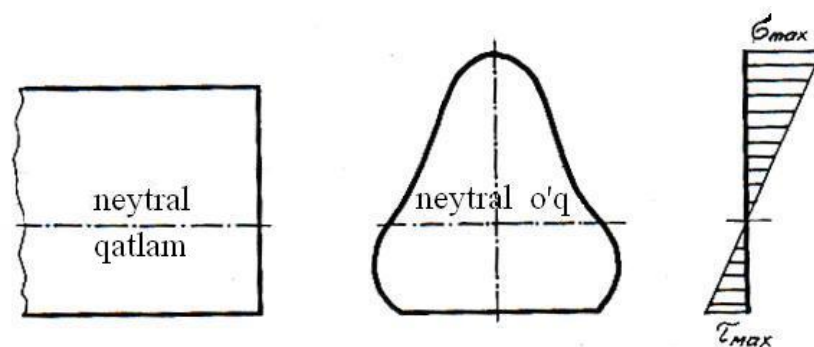
Momentning «x» neytral o'qiga nisbatan muvozanat sharti $M_x - \int_F \sigma y dF = 0$

yoki $M_x - \frac{E}{\rho} \int_F y^2 dF = 0$, $\sigma = \frac{yE}{\rho}$ bo'lgani uchun $\frac{E}{\rho} = \frac{\sigma}{y}$ hamda $\int_F y^2 dF$ ifoda «x» – neytral o'qqa nisbatan kesim inersiya momentiga (III bo'lim) teng.

$$M_x - \frac{\sigma}{y} I_x = 0 \quad \text{ëku} \quad \sigma = \frac{M_x y}{I_x} \quad (8.1)$$

Ko'ndalang kesim ixtiyoriy nuqtasidagi normal kuchlanishlarni egilishdagi qiymatini (8.1) ifoda aniqlash imkonini beradi. Chunki har bir ko'ndalang kesim uchun eguvchi moment epyurasidan aniqlanuvchi M_x va I_x inersiya momentlari o'zgarmas kattalik bo'lganligi sababli ko'ndalang kesim har bir nuqtasidagi normal kuchlanishlar neytral o'qdan shu nuqttagacha bo'lgan masofa orqali aniqlanadi.

Kesim balandligi bo'ylab normal kuchlanishlar epyurasi to'g'ri chiziqli, chunki (8.1) ifodada ordinata «y» birinchi darajada qatnashmoqda (8.7-rasm).



8.7-rasm. Sterjenning ko'ndalang kesim yuzasida kuchlanishni taqsimlanishi.

Neytral o'qqa nisbatan ko'ndalang kesim simmetrik bo'lgan holda «y» o'qqa nisbatan normal kuchlanishlar epyurasi ham simmetrik bo'ladi.

Bu holda eng katta kuchlanishlarni topish uchun kesimning «x» o'qiga (W_x) yoki «y» o'qiga (W_y) nisbatan qarshilik momenti deb ataluvchi maxsus geometrik xarakteristika kiritiladi.

$$W_x = \frac{I_x}{\sigma_{\max}}, \quad W_y = \frac{I_y}{\sigma_{\max}} \quad (8.2)$$

Masalan, to'g'ri to'rtburchak uchun

$$W_x = \frac{I_y}{\sigma_{\max}}, \quad I_x = \frac{bh^3}{12}; \quad \sigma_{\max} = \frac{h}{2} \quad \text{va} \quad W_x = \frac{2bh^3}{12h} = \frac{bh^2}{6}$$

$$\text{Mos ravishda } W_y = \frac{b^2h}{6}$$

Doira uchun $I_x = I_y = 0,05 d^4$, $y_{\max} = x_{\max} = d/2$, mos ravishda $W_x = W_y = 0,1 d^3$ ($\tau_{\max}$ ni aniqlashdagi geometrik xarakteristika – qutb qarshilik momenti $0,2 d^3$ ga teng va o'qqa nisbatan ikki marta katta). Prokat shaklli po'lat uchun qarshilik momenti kattaliklari prokat po'latlar sortamenti jadvalidan olinadi. Shuni qayd etish lozimki, murakkab kesimlar uchun qutb qarshilik momentini aniqlash kabi, murakkab jismlarda o'qqa nisbatan qarshilik momentini uni tashkil etuvchi uchastkalar qarshilik momentlari yig'indisi yoki ayirmasi sifatida aniqlash mumkin emas. Buning uchun berilgan o'qqa nisbatan kesim umumiy inersiya momentini aniqlab olib, hosil bo'lgan kattalikni o'qdan kesim eng chetki nuqtasigacha bo'lgan masofaga bo'lish kerak. Masalan (8.8-rasm) dagi kesim uchun

$$I_x = \frac{bh^3}{12} - \frac{(0,8h^3) \cdot 0,6b}{12} = \frac{0,69bh^3}{12}$$

$$y_{\max} = h/2$$

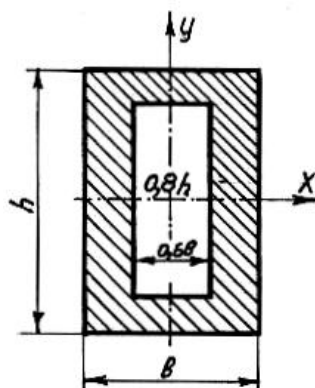
$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} = \frac{0,69bh^3 \cdot 2}{12h} = \frac{0,69bh^2}{6} = 0,115bh^2$$

$$I_y = \frac{b^3h}{12} - \frac{(0,6b)^3 \cdot 0,8h}{12} = \frac{0,128b^3h}{12}$$

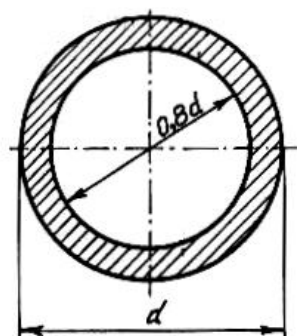
$$x_{\max} = b/2$$

$$W_y = \frac{I_y}{x_{\max}} = \frac{0,128b^3h}{6} = 0,021bh^2$$

Halqa uchun (8.9-rasm).



8.8-rasm. To'g'ri to'rtburchakli kovak kesim uchun qarshilik va inersiya momentlarini aniqlash.



8.9-rasm. Halqasimon kesim uchun qarshilik va inersiya momentlarini aniqlash.

$$W_x = W_y = \frac{0,029d^4}{0,5d} = 0,059d^3$$

$$I_x = I_y = 0,05d^4 - 0,05(0,8d)^4 = 0,029d^4$$

$$\sigma_{\max} = \tilde{\sigma}_{\max} = 0,5d$$

(8.1) va (8.2) ifodalardan egilishdagi ruxsat etilgandan kichik bo'lishi kerak bo'lgan normal kuchlanishlarning eng katta qiymatini topish mumkin

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} \leq [\sigma] \quad \text{ëku} \quad \sigma_{\max} = \frac{M_y}{W_y} \leq [\sigma] \quad (8.3)$$

Ushbu (8.3) ifoda sof egilishdagi mustahkamlik sharti deyiladi.

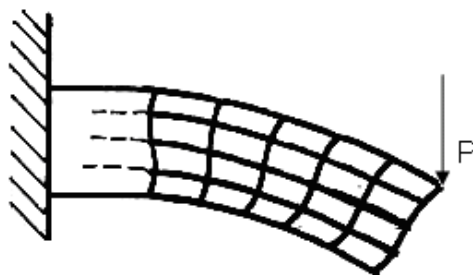
Y neytral o'qqa nisbatan ko'ndalang kesimi simmetrik bo'lgan sterjenlar uchun qo'llaniladi. Cho'zilish yoki buralishdagi kabi masalalar egilishda ham mustahkamlik shartidan foydalanib yechiladi, ya'ni mustahkamlik shartidan

ko'ndalang kesim kerakli o'lchamlari, ruxsat etilgan tashqi yuklama kattaligi aniqlanadi, mavjud inshoot mustahkamligi tekshiriladi va hokazo.

Egilishda potentsial energiya. Ko'ndalang egilish. Juravskiy formulasi.

Ko'ndalang egilishdagi keltirilgan ta'rifga asosan tashqi yuklamalar ta'sirida egiluvchi sterjen kesimlarida ichki kuchlar momenti M dan tashqari ko'ndalang kuch Q ham hosil bo'ladi. Bu Q kuch sterjen ko'ndalang kesimlarida urinma kuchlanish « τ » hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

O'z navbatida « τ » urinma kuchlanishlari burchak deformatsiyalarini hosil qilish barobarida egiluvchi sterjen to'rida o'tkazilgan ko'ndalang chiziqlarni qiyshayishiga olib keladi (8.16-rasm), ya'ni ko'ndalang egilishda tekis kesimlar gipotezasi bajarilmaydi. Ammo, o'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, Q kuchning sterjen uzunligi bo'yicha o'zgarish qiyamatida ko'ndalang kesimlar shaklining o'zgarishi normal kuchlanishlarga ta'sir etmaydi hamda Q kuchining o'zgaruvchi qiymatlarida esa ta'siri juda kichik

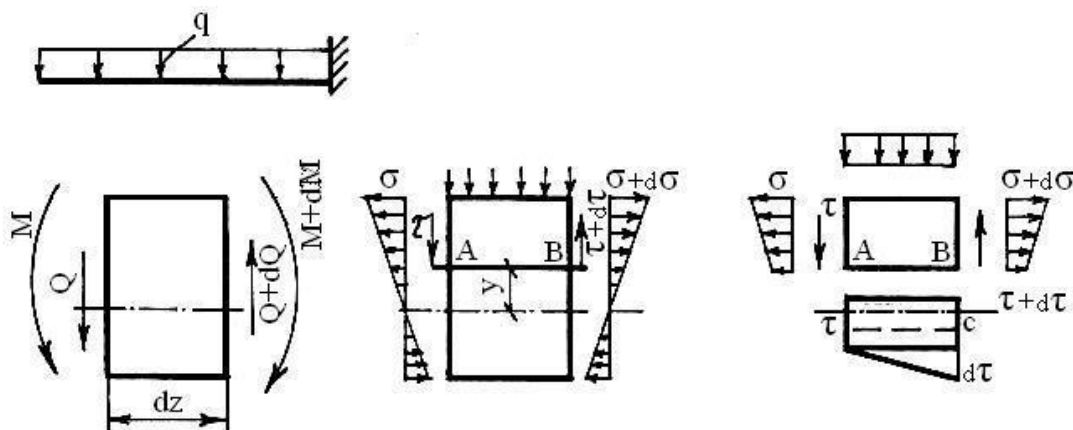


8.16-rasm. Yon tomoniga to'r chiziqlar chizilgan konsol balkaning egilishi.

Bu holat ko'ndalang egilishda normal kuchlanishlar miqdorini (8.1–8.3) ifodalardan, ya'ni sof egilish kabi aniqlash imkonini beradi. Ko'ndalang kesimlar shaklini o'zgarishi sterjen ko'ndalang kesimlarida normal kuchlanishlarni paydo bo'lishiga olib keladi, ya'ni sterjen «qatlamlari» bir-birini «bosadi», ammo ushbu kuchlanishlar miqdori uncha katta bo'lmagani uchun ularni hisoblashlarda e'tiborga olinmaydi. Demak, urinma kuchlanishlarni aniqlash taqriban, ammo amaliyot uchun yetarli darajadagi aniqlikda amalga oshiriladi degan xulosa kelib chiqadi.

Ko'ndalang egilish holatidagi balkadan dz uzunlikdagi element ajratamiz (8.17-rasm).

Ajratilgan elementni neytral qatlamdan « y » masofada bo'ylama gorizontal kesim o'tkazib 2 ta qismga ajratamiz va AB tekislik bilan chegaralangan yuqori qismini muvozanatini ko'ramiz. Hamda, urinma kuchlanishlar ko'ndalang kesim darajasida neytral o'q « x » ga parallel va normal kuchlanishlar o'zgarish deb faraz qilamiz (8.2-rasm). Urinma kuchlanishlar juftligi qonuniga asosan AB tekislik va ko'ndalang kesim A nuqtasida τ , B nuqtasida $\tau + d\tau$ urinma kuchlanishlar paydo bo'ladi.



8.17-rasm. Ko'ndalang egilishda urinma kuchlanishlarni aniqlash.

Ajratilgan element yuqori qismi muvozanat tenglamalarini sterjen bo'ylama o'qiga proeksiyalar yig'indisi ko'rinishida tuzamiz.

$$\sum Z = \int_F \sigma dF + \tau b dz + \frac{d\tau \cdot dz \cdot b}{2} - \int_{F^*} \sigma dF - \int_{F^*} d\sigma dF = 0$$

bu yerda, b – ko'ndalang kesimning AB tekislik darajasidagi uzunligi.

Ikkinchi darajali kichik miqdor $\left(\frac{d\tau dz b}{2}\right)$ ni e'tiborga olmasdan va

$d\sigma = \frac{dM}{I_x} y$, $\int_{F^*} d\sigma dF = \frac{dM}{I_x}$, $\int_{F^*} y dF = \frac{dM}{I_x} \cdot S_x^*$, bu yerda S_x^* ko'ndalang kesim AB tekislikdan yuqorida joylashgan F^* yuzasining statik momenti,) ekanligini hisobga olib $\frac{dM}{I_x} S_x^* = \tau b dz$ ni hosil qilamiz.

Juravskiy bog'lanishidan (II-bob, 5-§) $\frac{dM}{dz} = Q$, demak

$$\tau = \frac{QS_x^*}{I_x b} \quad (8.4)$$

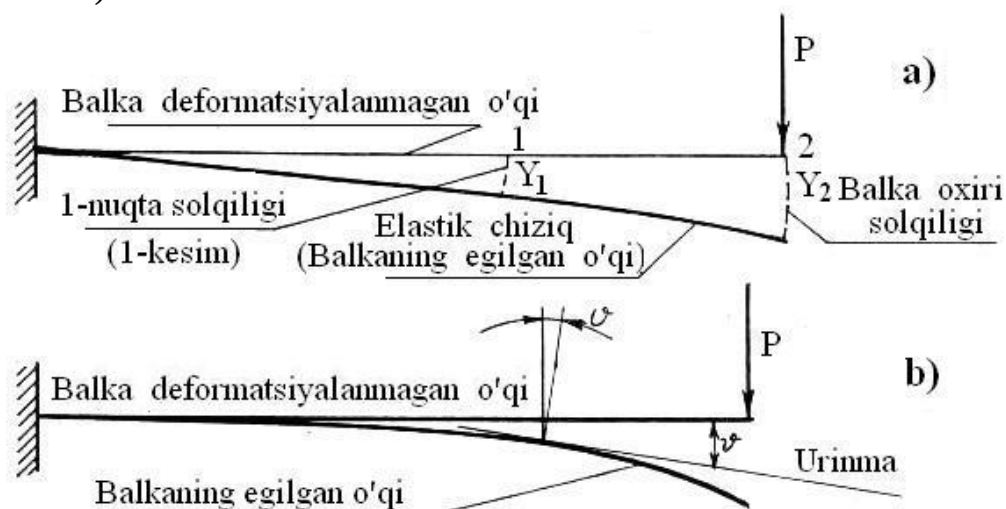
natijada (8.4) – Juravskiy bog'lanishini hosil qilamiz.

Unda ko'rilayotgan har bir ko'ndalang kesim uchun o'zgarmas, ko'ndalang kuchlar epyurasidan aniqlanuvchi Q – ko'ndalang ichki kuch kattaligi, Q kabi o'zgarmas bo'lgan neytral o'qqa nisbatan butun kesim I_x inersiya momenti, aniqlanayotgan kuchlanish darajasidan kesim «eni» b (b kattaligi to'g'ri to'rtburchak, qo'shtavr devori kabilar uchun o'zgarmas, doira uchun o'zgaruvchi bo'lishi mumkin), hisoblash darajasidagi yuqorida joylashgan ko'ndalang kesim yuzasining statik momenti S_x^* lar kiradi.

10-Mavzu. Balka egilgan o'qining differensial va universal tenglamalari

Cho'zilish va buralishga nisbatan egilishdagi deformatsiyaning xususiyati shundan iboratki, deformatsiyagacha to'g'ri chiziqdan iborat bo'lgan sterjen o'qi egiladi, nuqtalari esa o'q boshlang'ich holatiga tik yo'nalishda ko'chadi, ko'ndalang kesim esa biror burchakka buriladi.

O'q nuqtalarining ko'chishi solqilik deb ataladi va «y» yoki Δ bilan belgilanadi, deformatsiyalanmagan o'q bilan deformatsiyalangan o'qqa o'tkazilgan urinma orasidagi burchakka burilish burchagi deyiladi va φ yoki θ orqali belgilanadi, deformatsiyalangan sterjen bo'ylama o'qi elastik chiziq deyiladi (8.23a,b-rasm).



8.23-rasm. Erkin uchiga P kuch qo'yilgan balka egilishi:
a) 1 va 2 nuqtalarning solqiligi; b) ko'ndalang kesimning buralish burchagi.

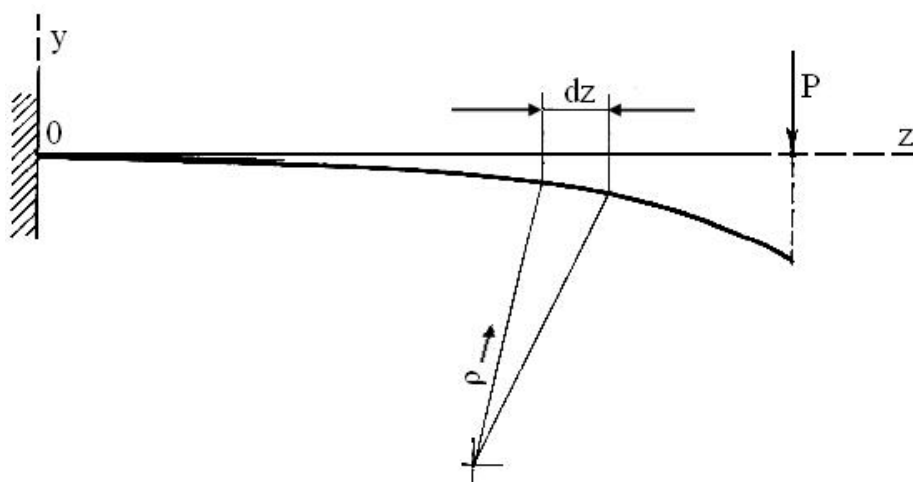
Amalda balka o'qi 1 va 2 nuqtalarining y_1 va y_2 solqiliklari balka uzunligiga nisbatan juda kichik bo'lgani uchun ularni o'q uzunligiga nisbatan kattaroq masshtabda olinadi.

Egilishda balka o'qi uzunligi o'zgarmaydi, chunki u neytral qatlamda joylashadi, hamda bu qatlamdagi normal kuchlanishlar nolga teng bo'ladi.

Balka o'qi egilishiga faqat solqilik emas, balki o'q nuqtalarining gorizonta bo'ylab siljishi ham sababchi bo'ladi. Siljishlar, nafaqat balka uzunligi, solqilikka nisbatan ham juda kichik bo'lgani uchun hisoblashlarda ularni e'tiborga olinmaydi.

Qistirib mahkamlangan balkada z o'qini o'ngga, y o'qini yuqoriga yo'naltiramiz (8.24-rasm).

Agar deformatsiya vaqtida o'qqa tegishli nuqtalar yuqoriga siljisa balka solqiligini (o'q solqiligi) musbat deb olamiz. Agar deformatsiyada ko'ndalang kesimlar soat strelkasi yo'nalishiga qarshi burilsa, buralish burchagi φ ni musbat deb olinadi. 8.23- va 8.24-rasmlarda ko'rsatilgan solqilik va burilish burchagi ishoralari manfiydir. Balka solqiligi uzunlik o'lchovi birliklarida (sm, mm, va hokazo), ko'ndalang kesim burilish burchagi esa radianlarda o'lchanadi.



8.24-rasm. Balka egilishining geometrik ko‘rinishi.

Deformatsiyalangan balkaning 2 ta qo‘shni ko‘ndalang kesimi tekisliklari bir-biridan dz masofada turadi va balka o‘qi dz bo‘lagi egrilik markazida kesishadi. Balka o‘qidan egrilik markazigacha bo‘lgan ρ masofaga o‘qning egrilik radiusi deyiladi (8.24-rasm).

VIII-bob, 2-§ da egilishdagi normal kuchlanishlar qiymatini aniqlashda quyidagi ifodadan foydalanilgan edi.

$$M_x - \frac{E}{\rho} \int_F y^2 dF = 0 \quad \text{yoki} \quad M_x - \frac{E}{\rho} I_x = 0$$

Bu yerdan $\frac{1}{\rho} = \frac{M_x}{EI_x}$. Oliy matematika kursidan ma‘lumki

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2 y}{dz^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dz}\right)^2\right]^{3/2}}$$

Birinchi tartibli hosila kvadratini tashlab yuborsak

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dz^2} \quad \text{yoki} \quad \frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{M_x}{EI_x} \quad (8.5)$$

Bu ifodaga egilgan balka o‘qi differensial tenglamasi deyiladi.

(8.5) ifodani Juravskiy differensial bog‘lanishlari (II-bob, 5-§) bilan solishtirib, o‘zgarmas ko‘ndalang kesimli sterjen uchun bir qator differensial bog‘lanishlar olamiz:

$$\varphi = \frac{dy}{dz}, \quad M = EI_x \frac{d^2 y}{dz^2}, \quad Q = EI_x \frac{d^3 y}{dz^3}, \quad q = EI_x \frac{d^4 y}{dz^4} \quad (8.6)$$

Ushbu tenglamalardan shunday xulosa chiqarish mumkin: agar egilishdagi balkaga moment ta’sir qilsa, elastiklik chizig‘i ikkinchi tartibli egri chiziq, bir nuqtada ta’sir etuvchi ($q = 0$, $Q = \text{const}$) kuch ta’sir etsa, uchinchi tartibli chiziq,

tekis taqsimlangan kuch ($q = \text{const}$) ta'sir etsa, to'rtinchi tartibli egri chiziqdan iborat bo'lar ekan.

Sterjen elastiklik chizig'i koordinatalari, ya'ni $y = f_1(z)$, $\varphi = f_2(z)$ bog'lanishlarni topish uchun balka o'qi asosiy differensial tenglamalarini (8.6) integrallash kerak M_x – ichki kuchlar eguvchi momenti z funksiyasi bo'ladi.

Egilishdagi bikrligi $EI = \text{const}$ bo'lgan sterjenlar uchun integrallash natijasida

$$\frac{dy}{dz} = \int M_x(z) dz + C \quad \text{yana bir marta integrallasak}$$

$$\phi = \int \left(\int M_x(z) dz \right) + \tilde{N}z + D \quad \text{bu yerda, } C \text{ va } D - \text{integral o'zgarmaslari}$$

$\frac{dy}{dz} = \varphi$, $\frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{M}{EI_x}$ ekanligini hisobga olib egiluvchi sterjen solqiligi va burilish burchagi tenglamasini olamiz

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \frac{1}{EI} \left[\int M_x(z) dz + C \right] \\ y &= \frac{1}{EI} \left[\int dz \int M_x(z) dz + Cz + D \right] \end{aligned} \right\} \quad (8.7)$$

Masalalarni amalda yechishda C va D integral o'zgarmaslari sterjen mahkamlash shartidan aniqlanadi. Ularni misollarda aniqlashni ko'ramiz.

Hajmiy deformatsiya. Solishtirma potentsial energiya.

Qo'yilgan tashqi kuch ta'sirida sterjen deformatsiyalanib, tashqi kuch A ga teng ishni bajaradi. Bu statik kuch ta'sirida bajarilgan ish kuchni ko'chishga ko'paytmasining yarmiga teng bo'ladi. Deformatsiyalanish paytida ajralgan issiqlik hisobga olinmaydi, shuning uchun energiyaning saqlanish qonuniga asosan tashqi kuchlarning bajargan ishi deformatsiyaning potentsial energiyasi U ga teng bo'ladi, ya'ni

$$A = U \quad (5.21)$$

Deformatsiya potentsial energiyasining jism hajmiga nisbati solishtirma potentsial energiyani beradi, ya'ni $u = U/V$ bo'lib, u energiya o'lchov birligining, hajm birligiga nisbatida o'lchanadi, masalan Joul/kub santimetrda (J/sm^3) va hokazo. Deformatsiyaning solishtirma potentsial energiyasini shartli ravishda jismning hajm o'zgarishidagi solishtirma potentsial energiyaga (u_h) va shakl o'zgarishidagi solishtirma potentsial energiyaga (u_{sh}) ajratish mumkin, ya'ni:

$$u = u_h + u_{sh} \quad (5.22)$$

Tekis kuchlanish holati uchun solishtirma potentsial energiyani bosh kuchlanishlar orqali quyidagicha ifodalash mumkin:

$$u_h = \frac{1-2\nu}{6E} (\sigma_1 + \sigma_2)^2 \quad (5.23)$$

$$u_{sh} = \frac{1+\nu}{3E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2) \quad (5.24)$$

$$u = \frac{1}{2E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\nu \sigma_1 \sigma_2) \quad (5.25)$$

Agarda σ_1 va σ_2 bosh kuchlanishlarni ixtiyoriy o'zaro tik yuzalardagi kuchlanishlar σ_z , σ_y orqali almashtirsak, u holda solishtirma potensial energiyani quyidagicha ifodalash mumkin bo'ladi:

$$u_h = \frac{1-2\nu}{6E} (\sigma_z + \sigma_y)^2 \quad (5.26)$$

$$u_{sh} = \frac{1+\nu}{3E} (\sigma_z^2 + \sigma_y^2 - \sigma_z \sigma_y) + \frac{\tau_z^2}{2G} \quad (5.27)$$

$$u = \frac{1}{2E} (\sigma_z^2 + \sigma_y^2 - 2\nu \sigma_z \sigma_y) + \frac{\tau_z^2}{2G}. \quad (5.28)$$

Agar bu formulalar yordamida sof siljishni tahlil qilsak $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = -\sigma$ bo'lgani uchun, hajm o'zgarishidagi solishtirma potensial energiya nolga teng bo'lib, shakl o'zgarishidagi solishtirma potensial energiya

$$u_{sh} = \frac{1+\nu}{E} \sigma^2 \quad (5.29)$$

ga teng bo'ladi.

Chiziqli kuchlanish holatida esa $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = 0$ bo'lgani uchun

$$u_h = \frac{1-2\nu}{6E} \sigma^2, \quad u_{sh} = \frac{1+\nu}{3E} \sigma^2, \quad u = \frac{\sigma^2}{2E} \quad (5.30)$$

ga teng bo'ladi.

Jismning kuchlanish holatiga tegishli materiallar mukammal ravishda «Elastiklik nazariyasi» kursida o'rganiladi. Shuning uchun biz bu kursimiz hajmida yuqorida berilgan ma'lumotlar bilan cheklanamiz.

11-mavzu: Kuchlanishlarni hisoblashning energetik usullari

Energetik mustahkamlik nazariyasi ko'proq plastik materiallar uchun qo'llaniladi va u uchinchi nazariyaga yaqin natijalarni beradi. Bu holni (5.33) va (5.35)larni bir-biri bilan solishtirib ham ko'rish mumkin.

4. O. Mor tomonidan taklif etilgan mustahkamlik nazariyasida, kuchlanish holatining xarakteristikalarini sifatida qaralayotgan yuzada hosil bo'ladigan eng katta urinma va normal kuchlanishlar olinadi.

O. Mor mustahkamlik nazariyasiga ko'ra tekis kuchlanish holatida mustahkamlik sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma_{ekv} = \frac{1-k}{2} (\sigma_z + \sigma_y) + \frac{1+k}{2} \sqrt{(\sigma_z + \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2} \leq [\sigma] \quad (5.38)$$

Xususiyl holda, ya'ni $\sigma_y = 0$ bo'lsa

$$\sigma_{ekv} = \frac{1-k}{2}\sigma + \frac{1+k}{2}\sqrt{\sigma^2 + 4\tau_z^2} \leq [\sigma] \quad (5.39)$$

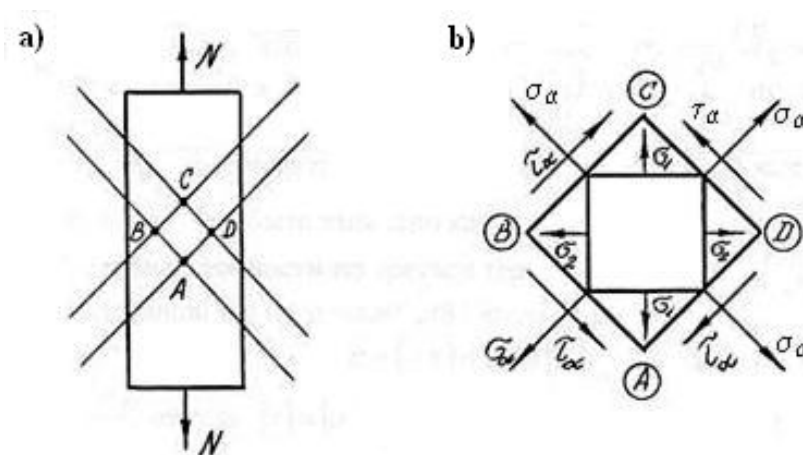
bo'ladi.

Plastik materiallar uchun $k = \frac{\sigma_{iq.ch}}{\sigma_{ieñ}}$. Bu yerda $\sigma_{oq.ch}$ – cho'zilishda oquvchanlik chegarasidagi kuchlanish, $\sigma_{oq.s}$ – siqilishda oquvchanlik chegarasidagi kuchlanish.

Mo'rt materiallar uchun $k = \frac{\sigma_{v.ch}}{\sigma_{v.s}}$ ga teng bo'lib, $\sigma_{v.ch}$ – cho'zilishdagi vaqtinchalik qarshilik, $\sigma_{v.s}$ – siqilishdagi vaqtinchalik qarshilik.

Agar $\sigma_{oq.ch} = \sigma_{oq.s}$ va $k = 1$ bo'lsa (5.38), (5.39) ifodalar (5.33) va (5.34) ifodalar bilan ustma – ust tushadi.

Misol: Cho'zilishga ishlayotgan sterjenning qiya kesimida yotuvchi nuqtaning kuchlanish holatini ko'ramiz (4.20-rasm). (4.16) ifodadan ma'lumki, eng katta normal va urinma kuchlanishlar σ_α , τ_α , sterjenning bo'ylama o'qiga 45° burchak ostida yotgan kesimda hosil bo'lar edi. «Qiya» tekislikka nisbatan 90° burchak ostida kesim o'tkazib (5.9a-rasm), hosil bo'lgan elementar yuzachani ajratib olamiz (5.9b-rasm). Bu yuzachani qirralariga σ_α , τ_α , kuchlanishlar ta'sir qiladi.



5.9-rasm. Cho'zilish deformatsiyasida qiya kesimlardagi kuchlanishlar:
a) sterjendan qiya kesimlar orqali ajratib olingan element; b) elementar yuzachaga ta'sir etayotgan kuchlanishlar.

Bu holda (5.9b-rasm) bosh yuzachalar, kesib olingan yuzachaga nisbatan 45° burchak ostida joylashgan bo'lib, ulardan biri sterjen ko'ndalang kesimida yotadi. Shuning uchun bosh kuchlanish

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2} = \frac{0,5\sigma + 0,5\sigma}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(0,5\sigma - 0,5\sigma)^2 + 4(0,5\sigma)^2} = \sigma$$

bo'ladi.

Mustahkamlikning birinchi nazariyasiga asosan $\sigma_{ekv} = \sigma_1 = \sigma$ bo'lib, bu holda mustahkamlik sharti $\sigma \leq [\sigma]$ ko'rinishga ega bo'ladi.

Uchinchi mustahkamlik nazariyasiga asosan

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2} = \sqrt{(0,5\sigma - 0,5\sigma)^2 + 4(0,5\sigma)^2} = \sigma$$

bo'lib, mustahkamlik sharti bu holda ham oldingi natija bilan bir xil bo'ladi.

To'rtinchi mustahkamlik nazariyasiga asosan

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 3\tau_z^2} = \sqrt{(0,5\sigma - 0,5\sigma)^2 + 3(0,5\sigma)^2} = 0,87\sigma$$

bo'lib, bu yerda birinchi va uchinchi mustahkamlik nazariyasida olingan natijadan kamroq natija kelib chiqadi.

Sterjenning qiya kesimi uchun, turli xil mustahkamlik nazariyalari asosida aniqlangan ekvalent kuchlanishlarning qiymatidan ko'rinib turibdiki, σ_{ekv} ning qiymati, sterjen ko'ndalang kesimida hosil bo'ladigan normal kuchlanishga teng yoki undan kichik bo'lar ekan. Bu holat, sterjenning buzilishi ko'ndalang kesim tekisligi bo'ylab bo'lishi mumkinligi haqidagi farazning to'g'riligini tasdiqlaydi.

Mor integrali va Vereshchagen usuli. Fiktiv kuchlar. Mor integrali

Berilgan sterjen nuqtalarining ko'chishlarini cho'zilish-siqilish, buralish, egilish kabi deformatsiya turlarida hisoblashning turli usullari oldingi boblarda keltirilgan edi. Ular ko'chishlarni hisob inshootlari nisbatan sodda sistemalardan iborat bo'lgan hollarda – alohida sterjen, balka, oddiy konsol uchun aniqlash imkonini beradi.

Siniq konsollar, yassi va fazoviy ramalar, egri sterjenlar kabi murakkab sistemalarda keltirilgan usullarni qo'llashda qator qiyinchiliklar paydo bo'ladi. Shu sababli universal xarakterga ega bo'lgan umumiy qonuniyatli usullarni qo'llashga ehtiyoj tug'iladi. Bunday usullarga O.Mor tomonidan tavsiya etilgan energiyaning saqlanish qonuniga asoslangan ko'chishlarni energetik usulda aniqlash usuli kiradi. Konstruksiya tashqi yuk ta'sir etganda qabul qilingan umumiy sxema asosida konstruksiya deformatsiyalanadi. Deformatsiya natijasida materialda ichki kuchlar hosil bo'lib, deformatsiyalanish jarayonida ularning kattaligi oshib boradi. Ichki va tashqi kuchlar ma'lum ish bajaradi, hamda ichki va tashqi kuchlar bajargan ishlar tenglashganda deformatsiyalanish jarayoni to'xtaydi. Jismda hosil bo'lgan kuchlanishlar qiymati proporsionallik chegarasi doirasi, ya'ni Guk qonuniga bo'ysungan holatda tashqi (ichki kuchlarini ham) bajargan ishi miqdori deformatsiya potensial energiyasiga teng, ya'ni tashqi yukni olinganidan so'nggi inshoot dastlabki holatini tiklash uchun sarflanadigan mexanik energiyaga teng. Deformatsiya potensial energiya kattaligi va elastik sistemalar ishi to'g'risidagi bir qator teoremlar (ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teorema, ishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teorema, Kastilyano teoremasi) dan kelib chiqib O.Mor tomonidan materiali Guk qonuniga bo'ysunuvchi ixtiyoriy sterjenli sistemalar nuqtalari ko'chishlarini aniqlash imkonini beruvchi usul taklif etildi.

Ko'chishlarni Mor* usuli bilan aniqlash

Mor usuli bilan ko'chishlarni aniqlash uchun:

1. Tashqi yuk ta'siridagi ichki kuchlar epyurasi quriladi va har bir uchastka uchun $M_{eg}^p = f_1(z_n)$, $M_b^p = f_2(z_n)$, $N^p = f_3(z_n)$, $Q^p = f_4(z_n)$ ifodalari tuziladi, bu yerda, n – uchastka tartib raqami. Epyuralar grafigini qurish umuman olganda shart emas, ammo uni qurilishi foydali ekanligini quyida keltiriladi.

2. Konstruksiyaning ko'chish aniqlanayotgan nuqtasi $P=1$ (birlik kuch) o'lchamsiz kuch bilan yuklanadi. Kuch yo'nalishi aniqlanayotgan ko'chish yo'nalishi bilan ustma-ust tushadi, ya'ni vertikal ko'chish aniqlanayotganda birlik kuch vertikal, gorizontal ko'chishda esa gorizontal bo'ladi. Kesim burilish burchagini aniqlash uchun sterjen bo'ylama o'qining kesim o'tgan nuqtasiga o'lchovsiz birlik moment yuklanadi.

3. $P=1$ (birlik kuch) ta'siridagi ichki kuchlar epyuralari har bir uchastka uchun quriladi va $M_{eg}^1 = f_1(z_n)$, $M_b^1 = f_2(z_n)$, $N^p = f_3(z_n)$, $Q^p = f_4(z_n)$ munosabatlar tuziladi, bu yerda n – uchastka tartib raqami. Bu yerda uchastka chegaralari tashqi yuklama epyurasi va birlik kuch epyurasi uchun albatta bir xil bo'lishi shart.

4. Quyidagi munosabatlardan izlanayotgan chiziqli yoki burchakli ko'chish « Δ » aniqlanadi:

$$\Delta = \sum \int_0^l \frac{\dot{I}_{eg}^p \dot{I}_{eg}^1}{\dot{A}I} dz + \sum \int_0^l \frac{\dot{I}_b^p \dot{I}_b^1}{I_b G} dz + \sum \int_0^l \hat{e} \frac{Q^p Q^1}{GF} dz + \sum \int_0^l \frac{N^p N^1}{EF} dz \quad (9.1)$$

(9.1) Ifodadagi $M_b^p, M_{eg}^p, Q^p, N^p$ – bog'lanishlar tashqi yuklama ta'siridagi ichki kuchlarning funksiyasi bo'lib, kesimning uchastkadagi « z » koordinatasiga bog'liq.

$M_b^1, M_{eg}^1, Q^1, N^1$ – lar esa birlik kuch ta'siri.

EI, GI_b, GF, EF – kattaliklar mos ravishda sterjenning egilish, buralish, siljish va cho'zilishdagi bikrliliklari. Agar uchastkada sterjen bikrligi o'zgarmas bo'lsa, uni integral belgisidan tashqariga chiqarish mumkin.

ℓ – har bir uchastka bo'ylab alohida amalga oshirilib, natijalar qo'shilishini bildiradi.

*** ba'zan ushbu usul Maksvell – Mor usuli deb ataladi.**

κ – ko'ndalang kesim shakliga bog'liq koeffitsient bo'lib, u egilishda ko'ndalang kesim yuzasi bo'ylab urinma kuchlanishlar notekis taqsimlanishini hisobga oladi. To'g'ri to'rtburchakli kesim uchun $\kappa = 1,2$, doira uchun 1,1 va hokazo.

Biror ko'chishdagi musbat ishora ko'chish haqiqiy yo'nalishi birlik kuch yo'nalishi bilan bir xil, (–) ishora esa birlik kuch yo'nalishiga qarama-qarishi ekanligini anglatadi.

Odatda ko'chishlarni aniqlashda (9.1) ifodadagi hamma integrallar doimo ishlatilmaydi, masalan sterjen egilishida ko'ndalang kesimda eguvchi momentdan

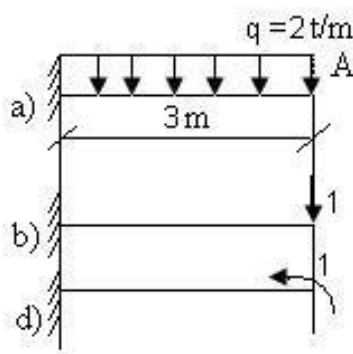
tashqari ko'ndalang va bo'ylama kuch hosil bo'lsada, faqat egilish ta'siri e'tiborga olinadi. Ko'chish quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\Delta = \sum \int_0^l \frac{\dot{I}_{eg}^D \cdot \dot{I}_{eg}^1}{EI} dz \quad (9.2)$$

Fazoviy konstruksiyalar egilishida ko'chishlarni aniqlashda egilish va buralish ta'sirlari hisobga olinadi, cho'ziluvchi yoki siqiluvchi sterjenlarda – faqat bo'ylama kuch N hisobga olinadi.

Mor usuli bilan ko'chishlarni aniqlashga misollar keltiramiz.

9.1-masala. Tekis taqsimlangan yuk bilan yuklangan, qo'shtavrdan yasalgan konsol uchi vertikal ko'chishi va buralish burchagi topilsin (9.1a-rasm).



9.1-rasm. Konsoli balkanig erkin uchidagi A nuqtaning ko'chishi va buralish burchagini Mor usuli bilan aniqlash:

a) berilgan balka; b) balkaning A nuqtasiga birlik kuch qo'yilgan; d) balkaning A nuqtasiga birlik kuch momenti qo'yilgan.

Berilgan shakl bitta uchastkadan iborat.

$$M^P = -\frac{qz^2}{2}$$

A nuqta vertikal ko'chishini aniqlash uchun $P=1$ kuch bilan yuklaymiz (9.1b-rasm)

$$M_1^1 = -1 \cdot z = -z$$

$$\Delta_A^{ver} = \frac{1}{EI} \int_0^{\ell} \left(-\frac{qz^2}{2}\right)(-z) dz = \frac{1}{EI} \int_0^{\ell} \frac{qz_1^3}{2} dz = \frac{qz^4}{8EI} \Big|_0^{\ell} = \frac{ql^4}{8EI}$$

Agar $q = 2 \text{ t/m}$, $\ell = 3 \text{ m}$ bo'lsa $\Delta_A^{ver} = \frac{2 \cdot 81}{8EI} = \frac{20,25 \text{ tm}^3}{EI}$, N 30 qo'shtavr uchun $I_x = 1080 \text{ sm}^4$, $E = 2 \cdot 10^6 \text{ kg/sm}^2$ bo'lganda

$$\Delta = \frac{20250 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot \text{sm}^3}{2 \cdot 10^6 \text{ kg/sm}^2 \cdot 1080 \text{ sm}^4} = 1,43 \text{ sm}$$

(+) ishora ko'chish yo'nalishi $P=1$ birlik kuch yo'nalishi bilan mos tushishini bildiradi. A nuqtadan o'tuvchi ko'ndalang kesim buralish burchagini aniqlash uchun uni birlik eguvchi moment bilan yuklaymiz (9.1d-rasm)

$$M^1 = 1,$$

$$\begin{aligned}\theta_A &= \frac{1}{EI} \int_0^\ell \left(-\frac{qz^2}{2}\right) \cdot 1 \cdot dz = \frac{1}{EI} \int_0^\ell \left(-\frac{qz^2}{2}\right) dz = -\frac{qz^3}{6EI} \Big|_0^\ell = \\ &= -\frac{q\ell^3}{6EI} = -\frac{2t/m \cdot (3m)^3}{6AI} = -\frac{9t \cdot m^2}{AI} = -\frac{9000 \cdot 10^4 \text{ kg} \cdot \text{sm}^2}{2 \cdot 10^6 \text{ kg/sm}^2 \cdot 1080 \text{ sm}^4} = -0,0063 \text{ rad}\end{aligned}$$

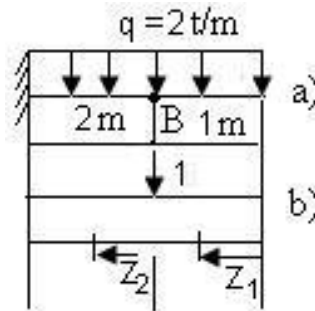
(-) ishora A nuqtadagi ko'ndalang kesim buralish burchagi yo'nalishi birlik moment yo'nalishiga mos kelmaydi, ya'ni kesim soat strelkasi yo'nalishida buriladi.

Oldingi masala uchun B nuqta vertikal ko'chishini aniqlaylik (9.2-rasm).

B nuqta vertikal ko'chishini aniqlash uchun uni $P=1$ kuch bilan yuklaymiz (9.2b-rasm). Bu holda birlik kuch bilan yuklangan balka 2 uchastkadan iborat.

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, tashqi yuk epyurasi va birlik kuch epyurasini qurishda uchastka chegarasi bir xil bo'lishi shart edi, ya'ni bitta emas, balki ikkita $M^P - M_{eg}^P = f_1(z_1)$ va $M_{eg}^P = f_2(z_2)$ ifodani tuzish kerak.

$$M_1^P = -\frac{qz_1^2}{2}; \quad M_2^P = -\frac{q(z_2+1)^2}{2}$$

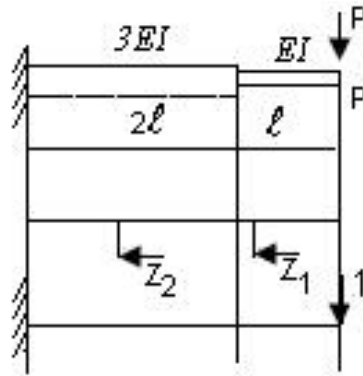


9.2-rasm. Konsol balkaning B nuqtasining ko'chishi aniqlansin:
a) berilgan balka; b) balkaning B nuqtasiga birlik kuch qo'yilgan.

Birlik kuch uchun $M_1^1 = 0$; $M_2^1 = -1 \cdot z_2$

$$\begin{aligned}\Delta_{\hat{A}}^{ver} &= \frac{1}{EI} \int_0^\ell \left(-\frac{qz_1^2}{2}\right)(0)dz + \frac{1}{EI} \int_0^{\ell_2} -\frac{q(z_2+1)^2}{2}(-z)dz = 0 + \frac{q}{2EI} \int_0^{\ell_2} (z_2^3 + 2z_2^2 + z_2)dz = \\ &= \frac{q}{2EI} \left(\frac{z_2^4}{4} + \frac{2z_2^3}{3} + \frac{z_2^2}{2}\right) \Big|_0^{\ell_2} = \frac{2 \cdot 5,650 \cdot 10^4 \cdot 1}{EI} = \frac{2 \cdot 5650 \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot \text{sm}^3}{2 \cdot 10^6 \text{ kg/sm}^2 \cdot 1080 \text{ sm}^4} = 0,8 \text{ sm}\end{aligned}$$

Mor usuli bilan ko'chishlarni aniqlashda ichki kuchlar epyuralarini qurishda qo'llaniladigan odatdagi uchastkalarga bo'lishdan tashqari sterjenni birligi o'zgaruvchi nuqtalari bo'yicha uchastkalarga ajratishga to'g'ri keladi. Unga misol keltiramiz (9.3-rasm).



9.3-rasm. Bikrligi o'zgaruvchan balkada ko'chishlarni aniqlash.

Solqilikni aniqlashda konsol o'qini 2 uchastkaga ajratamiz, har bir uchastka bikrligi o'zgarmas.

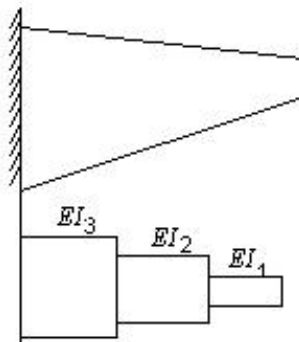
$$M_1^P = -P \cdot z_1; \quad M_2^P = P(z_2 + \ell)$$

A nuqtani $P=1$ birlik kuch bilan yuklaymiz.

$$M_1^1 = -1 \cdot z; \quad M_2^1 = -1 \cdot (z_2 + \ell)$$

$$\begin{aligned} \Delta_A^{ver} &= \frac{1}{EI} \int_0^\ell (-Pz_1)(-z_1)dz + \frac{1}{3EI} \int_0^{2\ell} (P(z_2 + \ell)) \cdot (-1)(z_2 + \ell) dz = \\ &= -\frac{P}{EI} \int_0^\ell z^2 dz + \frac{P}{3EI} \int_0^{2\ell} (z_2 + \ell)^2 dz = \frac{Pz^3}{3EI} \Big|_0^\ell + \frac{P}{3EI} \left(\frac{z_2^3}{3} + \frac{z_2^2 \ell}{2} + \frac{z_2 \ell^2}{2} + \frac{\ell^3}{1} \right) \Big|_0^{2\ell} = \\ &= \frac{P\ell^3}{3EI} + \frac{8P\ell^3}{9EI} + \frac{4P\ell^3}{6EI} + \frac{4P\ell^3}{6EI} + \frac{2P\ell^3}{3EI} = \frac{58P\ell^3}{18EI} = \frac{3,2P\ell^3}{EI} \end{aligned}$$

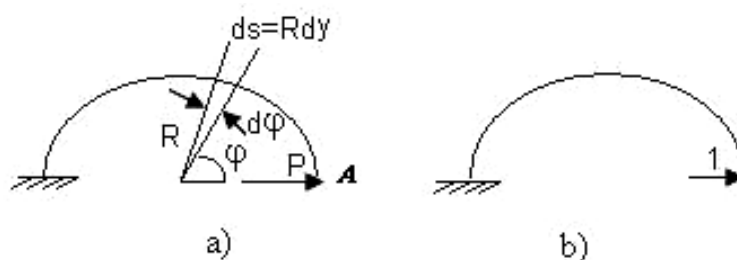
Bikrligi doimiy o'zgaruvchi sterjenlar, ya'ni $EI = f(z)$ holda ham ko'chishlarni Mor usuli orqali aniqlash mumkin, ammo bu holda EI kattalikni integral belgisidan tashqariga chiqarib bo'lmaydi, chunki u (z) funksiyasi bo'ladi, mos ravishda integrallash jarayoni qiyinlashadi. Bu masalani hisob sxemasini soddalashtirib yechish qulayroq, sterjenni tekis o'zgaruvchi pog'onali kesimlar bilan almashtiriladi (9.4-rasm) va integrallash pog'ona uchastkalari bo'ylab oldingi masaladagi kabi hisoblanadi.



9.4-rasm. Bikrligi o'zgaruvchan balkani pog'onali balkaga almashtirish.

Uchastkalar sonini oshirish hisob sxemasini berilganga yaqinlashtiradi. Mor usuli bilan egri brus nuqtalari ko'chishlarini topish mumkin. Bu holda integral ostidagi df elementni ds yoy elementi bilan almashtiriladi, $dz = \rho d\varphi$, bu yerda ρ – sterjenning shu kesimidagi egrilik radiusi. Misol tariqasida egri brus A nuqtasining gorizontal ko'chishini aniqlaymiz (9.5-rasm).

Bo'ylama va ko'ndalang kuchlar ta'sirini hisobga olmaymiz. Brus ixtiyoriy kesimidagi berilgan yukdan hosil bo'lgan eguvchi moment $M_P = PR \sin \varphi$ ifodadan aniqlanadi. (2.23-rasmda keltirilgan misolga qarang).



9.5-rasm. Egri bruslarda ko'chishlarni aniqlash:

a) berilgan egri brus; b) brusning A nuqtasiga gorizontal birlik kuch qo'yilgan.

A nuqta gorizontal ko'chishini topish uchun shu nuqtada brusga gorizontal birlik kuchni qo'yamiz (9.5b-rasm). Birlik kuch ta'sirida hosil bo'luvchi eguvchi momentni M^1 desak

$$M^1 = R \sin \varphi$$

Mor formulasiga asosan

$$\Delta = \int_0^{\ell} \frac{\partial \delta}{\partial P} ds = \int_0^{\pi} \frac{(PR \sin \varphi)(R \sin \varphi) R d\varphi}{EI} = \frac{PR^3}{EI} \int_0^{\pi} \sin^2 \varphi d\varphi = \frac{PR^3}{EI} \left(\frac{\varphi}{2} - \frac{\sin 2\varphi}{4} \right) \Big|_0^{\pi} = \frac{\pi P R^3}{2 EI}$$

Javobdagi musbat ishora nuqtaning ko'chishi Δ birlik kuch yo'nalishi bilan bir xil, ya'ni A nuqta o'ngga ko'chganini bildiradi.

Aylanasimon egri bruslarda ko'chishlarni aniqlashda o'ziga xos ko'rinishdagi trigonometrik funksiyalar integrallarini hisoblashga to'g'ri keladi va ularning eng xarakterlilari 9.1-jadvalda keltirilgan.

Bir qator masalalarni yechishda konstruksiya ikki nuqtasi orasidagi masofani aniqlash zarurati paydo bo'ladi. Bu holda nuqtalarga bir-biriga nisbatan qarama-qarshi tomonga yo'nalgan birlik kuch qo'yiladi. Agar kesimlarning o'zaro burilishini topish talab etilsa, bo'ylama o'qdagi kesim nuqtalariga turli tomonga yo'nalgan birlik moment qo'yiladi, keyingi hisoblashlar odatdagidan farq qilmaydi.

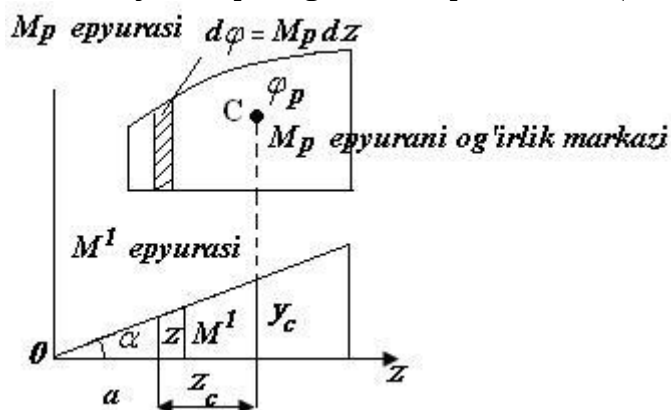
Keltirilgan misollardan ko'rinib turibdiki, sterjenda uchastkalar soni ortishi bilan ichki kuchlarni hisoblash ifodalari murakkablashadi va bu siniq konsol va murakkab ko'rinishli ramalarda yaqqol ko'rinadi. Ushbu holda Mor integralini hisoblash hajmi oshib ketadi. A.K.Vereshchagin tomonidan taklif etilgan Mor integralini hisoblashning grafo-analitik usulini qo'llash orqali yuqoridagi kamchilikni bartaraf qilish mumkin. Bu usul Vereshchagin qoidasi, ba'zan Myuller–Breslau usuli deb ataladi.

Egri bruslarda ko'chishlarni aniqlashda qo'llaniladigan trigonometrik funksiyalarning integrallangan ifodalari

№	$f(\varphi)$	$\int_0^{\varphi} f(\varphi) d\varphi$	$\int_0^{\pi/2} f(\varphi) d\varphi$	$\int_0^{\pi} f(\varphi) d\varphi$	$\int_0^{3\pi/2} f(\varphi) d\varphi$	$\int_0^{2\pi} f(\varphi) d\varphi$
1	$\sin\varphi$	$1 - \cos\varphi$	1	2	1	0
2	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	1	0	-1	0
3	$\sin^2\varphi$	$\frac{1}{2}(\varphi - \frac{1}{2}\sin 2\varphi)$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	π
4	$\cos^2\varphi$	$\frac{1}{2}(\varphi + \frac{1}{2}\sin 2\varphi)$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	π
5	$\sin\varphi \cos\varphi$	$\frac{1}{2}\sin^2\varphi$	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	0
6	$1 - \cos\varphi$	$\varphi - \sin\varphi$	$\frac{\pi}{2} - 1$	π	$\frac{3\pi}{2} - 1$	2π
7	$(1 - \cos\varphi)^2$	$\frac{3}{2}\varphi - 2\sin\varphi + \frac{1}{4}\sin 2\varphi$	$\frac{3\pi}{4} - 2$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{9\pi}{4} + 2$	3π
8	$(1 - \cos\varphi) \sin\varphi$	$1 - \cos\varphi - \frac{1}{2}\sin^2\varphi$	$\frac{1}{2}$	2	$\frac{1}{2}$	0
9	$(1 - \cos\varphi) \cos\varphi$	$\sin\varphi - \frac{\varphi}{2} - \frac{1}{4}\sin 2\varphi$	$1 - \frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$-1 - \frac{3}{4}\pi$	$-\pi$

Vereshchagin qoidasi

Mor integralini nisbatan oson hisoblash imkonini beruvchi ushbu grafo-analitik usul bikrligi o'zgarmas va o'qi to'g'ri chiziqli sterjenlar ko'chishini aniqlashda qo'llaniladi. Sterjen o'qi to'g'ri chiziqli bo'ladi (9.6-rasm).



9.6-rasm. Vereshchagin qoidasi keltirib chiqarish uchun sxema.

Birlik kuch epyurasi shaklini aniqlovchi tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$M^1 = (z + a) \operatorname{tg} \alpha$$

M_p epyurasi egri chiziqli yoki to'g'ri chiziqli bo'lishi mumkin.

$M^1 = f(z)$ ifodani Mor integraliga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$\frac{1}{EI} \int_0^\ell M_p M^1 dz = \frac{1}{EI} \operatorname{tg} \alpha \int_0^\ell (z + a) M_p dz$$

Bu yerda $M_p dz$ ko'paytma M_p epyurasidagi ω yuza differensial, ya'ni

$M_p dz = d\omega$, $\int_0^\ell (z + a) d\omega = M_p$ epyurasi yuzasining y o'qiga nisbatan statik momenti. Ikkinchi tomondan statik moment kesim og'irlik markazidan o'qqacha bo'lgan masofani yuzaga ko'paytmasiga teng, ya'ni $\int (z + a) d\omega = \omega(z_c + a)$, bu yerda z_c – M_p epyurasi og'irlik markazidan y_s o'qigacha bo'lgan masofa.

Shunday qilib, $\int_0^\ell M_p M^1 dz = (z_c + a) \omega \operatorname{tg} \alpha$ 9.6-rasmdan

$(z_c + a) \operatorname{tg} \alpha = y_c$, ya'ni M_p epyurasi og'irlik markazi ostidagi M^1 epyurasi ordinatasi. Demak,

$$\int_0^\ell \dot{I}_D \dot{I}_1 dz = \omega \acute{o}_{\tilde{n}} \quad (9.3)$$

Bu yerda, ω – birinchi epyura yuzasi. y – birinchi epyura og'irlik markazi ostidagi ikkinchi epyura ordinatasi.

Bu qoida cho‘zilish-siqilish va buralishdagi ko‘chishlarni aniqlashda ham o‘rinli

$$\int_0^{\ell} N^P N^1 dz = \omega y_c; \quad \int M_b^P M_b^1 dz = \omega \cdot y_c$$

Mor integralini ushbu usulda ochishga odatda epyuralarni ko‘paytirish (ba‘zan biriktirish) deb ataladi. Ko‘paytirilayotgan epyuralar ikkisi ham to‘g‘ri chiziqli bo‘lganda, ixtiyoriysi yuzani hisoblash mumkin, epyuralardan biri egri chiziqli bo‘lgan holda, albatta shu epyura yuzasi topiladi. Agar ikkala epyura ham o‘qning bir tomonida joylashgan bo‘lsa, ular ko‘paytmasi musbat, ya‘ni ko‘chish yo‘nalishi birlik kuch yo‘nalishi bilan bir xil, agar turli tomonda bo‘lsa, ko‘paytirish natijasi manfiy bo‘ladi.

Shunday qilib, Vereshchagin qoidasi yordamida Mor usulida ko‘chishlarni aniqlash uchun quyidagilarni bajarish kerak:

1. Tashqi yuk ta‘siridagi ichki kuchlar epyurasi quriladi.
2. Ko‘chishi aniqlanayotgan nuqtaga yo‘nalishi ko‘chish bilan bir xil birlik kuch qo‘yilib, birlik kuch ta‘siridagi ichki kuchlar epyurasi quriladi.
3. Har bir uchastka uchun epyuralar biri (ω) yuzi, epyura og‘irlik markazi holati aniqlanadi hamda birinchi epyura og‘irlik markazi ostidagi ikkinchi epyura y_c ordinatasi topiladi.
4. Izlanayotgan ko‘chish quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

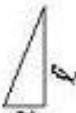
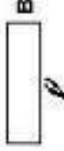
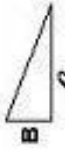
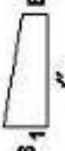
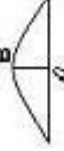
$$\Delta = \Sigma \frac{\omega \cdot y}{EI} \quad \text{egilishda} \quad (9.4 \text{ a})$$

$$\Delta = \Sigma \frac{\omega \cdot y}{EF} \quad \text{cho‘zilish va siqilishda} \quad (9.4 \text{ b})$$

$$\Delta = \Sigma \frac{\omega \cdot \phi}{I_\delta G} \quad \text{buralishda} \quad (9.4 \text{ d})$$

Bu yerdagi « Σ » belgisi epyuralarni ko‘paytirish har bir uchastka bo‘yicha alohida o‘tkazilib, natija qo‘shilishini bildiradi. Tashqi yuklama va birlik kuch epyuralari uchastkalar chegaralari bir xil bo‘lishi lozim. Vereshchagin qoidasi asosida Mor integralini hisoblash maxsus jadval (9.2-jadval) dan foydalanilganda ancha yengillashadi.

Mor integralini hisoblash uchun maxsus jadval

	$\frac{M^I}{M^P}$				
1		ael	$\frac{eal}{2}$	$\frac{(a_1 + a_2)e\ell}{2}$	$\frac{e\ell(a_1 - a_2)}{a_1 + a_2}$
2		$\frac{eal}{2}$	$\frac{eal}{6}$	$\frac{e\ell}{6}(2a_2 + a_1)$	$\frac{e\ell}{6}(a_1 - 2a_2)$
3		$\frac{eal}{2}$	$\frac{eal}{3}$	$\frac{e\ell}{6}(2a_1 + a_2)$	$\frac{e\ell}{6}(2a_1 - a_2)$
4		$\frac{(e_1 + e_2)al}{2}$	$\frac{al}{6}(2e_1 + e_2)$	$\frac{e\ell}{6}[2(a_1e_1 + a_2e_2) + a_1e_2 + a_2e_1]$	$\frac{e\ell}{6}[2(a_1e_1 - a_2e_2)] - a_2e_1 + a_2e_2$
5		$\frac{(a_1 - e_2)la}{e_1 + e_2}$			
6		$\frac{eal}{3}$	$\frac{al}{6}(2e_1 + e_2)$	$\frac{e\ell}{6}[2(a_1e_1 - a_2e_2) + e_1a_2 - a_1e_2]$	$\frac{e\ell}{6}[2(a_1e_1 + a_2e_2) - a_1e_2 - a_2e_1]$
7		$\frac{eal}{3}$	$\frac{ael}{12}$	$\frac{e\ell}{12}(a_1 + 3a_2)$	
8		$\frac{4aea}{3}$	$\frac{ael}{4}$	$\frac{e\ell}{12}(3a_1 + a_2)$	

9.2-jadvalda epyuralar uchastkalari oxirlari ordinatalari orqali ifodalangan ko'paytirish natijalari keltirilgan.

Misol tariqasida, oldin Mor integrali hisoblangan 9.1, 9.2, 9.3-misollarni Vereshchagin qoidasi bo'yicha ko'paytirishni ko'ramiz.

A – nuqtaning vertikal ko'chishi va shu nuqtadan o'tuvchi kesim buralish burchagini topish talab etilsin (9.7a-rasm).

Tashqi yuk ta'siridagi M_P epyurasini quramiz (9.7b-rasm).

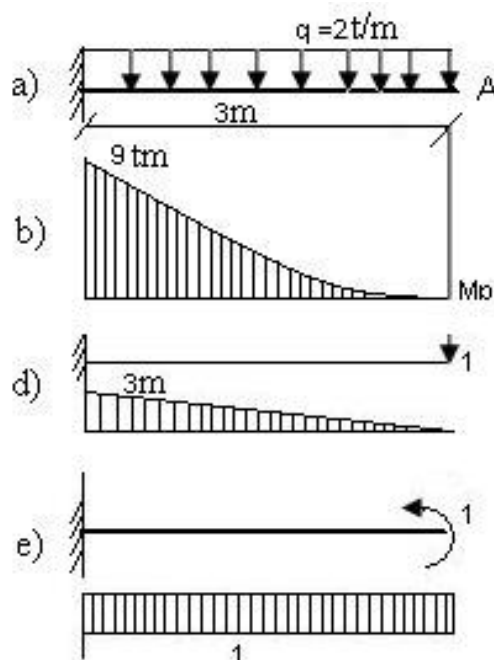
$$M^P = -\frac{qz_1^2}{2} \quad z_1 = 0 \text{ da } M^P = 0$$

$$z_1 = 3 \text{ da } M^1 = -9 \text{ t.m}$$

A nuqtaga vertikal birlik kuch qo'yib, M_1 epyurasini quramiz (9.7d-rasm).

$$M^1 = -1 \cdot z_1 = -z_1 \quad z_1 = 0 \text{ da } M^1 = 0$$

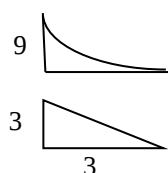
$$z_1 = 3 \text{ da } M^1 = -3 \text{ m}$$



9.7-rasm. Tekis taqsimlangan nagruzka bilan yuklangan balkanning erkin uchidagi A nuqtaning ko'chishi va buralish burchagini Vereshchagin usuli bilan aniqlash:

- a) berilgan balka; b) tashqi kuch ta'siridan qurilgan eguvchi moment epyurasi; d) ko'chishni topish uchun birlik kuch va uning epyurasi; e) buralish burchagini topish uchun birlik moment va uning epyurasi.

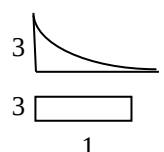
9.2-jadvaldan foydalanib M_P va M_1 epyuralarini ko'paytiramiz. Ko'paytirish natijalarini yettinchi gorizontaal qator va ikkinchi vertikal ustun kesishgan joydan olamiz.



$$\Delta_A^{ver} = \frac{9t \cdot m \cdot 3m \cdot 3m}{4EI} = \frac{20,25t \cdot m^3}{EI};$$

A-nuqtadan o'tuvchi ko'ndalang kesim burilishini topish uchun shu nuqtaga $M^1 = 1$ birlik moment qo'yamiz va M_1^1 epyurasini quramiz (9.4d-rasm) M_P va M_1

epyuralar ko'paytirish natijalarini 9.2-jadvalning yettinchi qator va birinchi ustun kesishgan joydan olamiz.

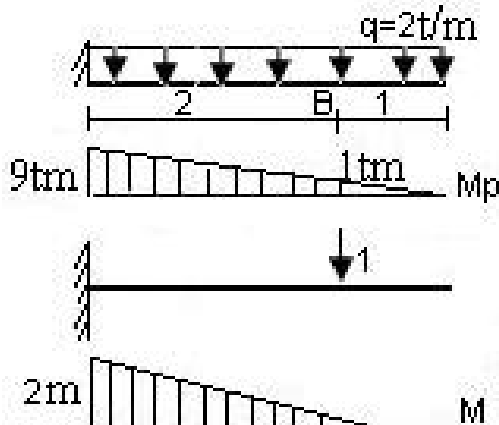


$$\theta_A = \frac{-9 \cdot t \cdot m \cdot 3m \cdot 1}{EI} = \frac{-27t \cdot m^3}{EI}$$

EI qiymatini qo'ysak $\theta_A = -0,0063$ rad.

Olingan natija oldingisi bilan bir xil, lekin bu holda hisoblashlar kamaygan.

B nuqta ko'chishini aniqlaymiz (9.8-rasm) M_P epyurasini quramiz.



9.8-rasm. 9.7-rasmdagi balkaning B nuqtasidagi ko'chishni aniqlash uchun qurilgan eguvchi moment va birlik kuch epyurasi.

Sxema 2 uchastkadan iborat, chunki uchastkalar chegarasi tashqi yuk va birlik kuch epyuralari qurishda bir xil bo'lishi kerak.

$$M_1^P = -qz_1^2 / 2 \quad z_1 = 0 \text{ da } M = 0$$

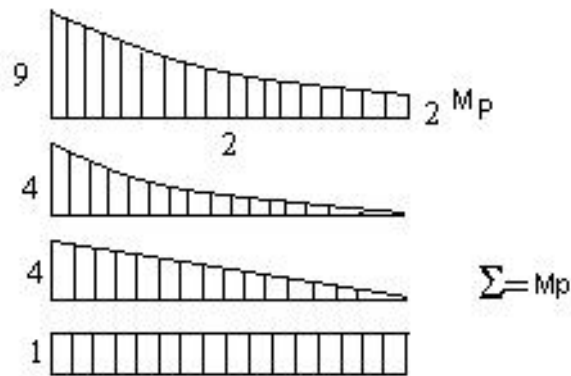
$$z_1 = 1 \text{ da } M = -1 t \cdot m$$

$$M_2^P = -\frac{q(z_2 + 1)^2}{2} = \frac{qz_2^2}{2} - \frac{2qz_2}{2} - \frac{q}{2} \quad z_1 = 0 \text{ da } M = -1 t \cdot m$$

$$z_1 = 2 \text{ da } M = -9 t \cdot m$$

Ikkinchi uchastkada M_P epyurasi $(-\frac{qz^2}{2})$ parabola, $(-qz)$ uchburchak va $(-$

1) to'g'ri to'rtburchakdan iborat murakkab figura hosil qiladi. B nuqtaga $P = 1$ birlik kuch qo'yib, M_1 epyurasini quramiz (9.9-rasm).



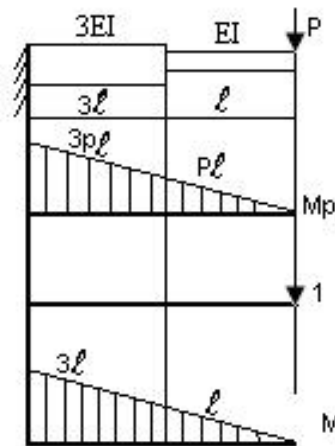
9.9-rasm. B nuqtaga birlik kuch qo'yilganda tashqi yukdan hosil bo'lgan epyura.

Topilgan $\Delta \hat{A}^{ver}$ kattaligi 3 misolda keltirilgan javob bilan bir xil.

9.10-rasmda keltirilgan pog'onali balka A nuqtasi solqiligini topamiz. Tashqi yuklama va birlik kuch ta'siridan hosil bo'lgan M^P va M^1 epyuralarini quramiz. Vereshchagin qoidasi bo'yicha bu epyuralarni ko'paytiramiz.

$$\Delta_B^{ver} = \frac{P \ell \cdot \ell \cdot \ell}{3EI} + \frac{2}{6 \cdot 3EI} [2(P \cdot \ell \cdot \ell + 3P \ell \cdot 3\ell) + 3P \ell \cdot \ell + P \ell] = \frac{3,2P \ell^3}{EI}$$

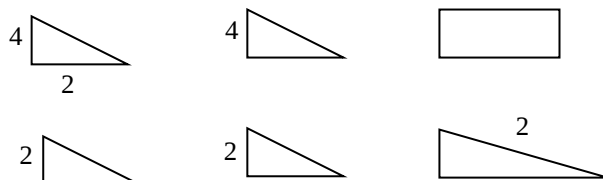
$$M_1^1 = 0; M_2^1 = -1 \cdot z_2 = -z_2$$

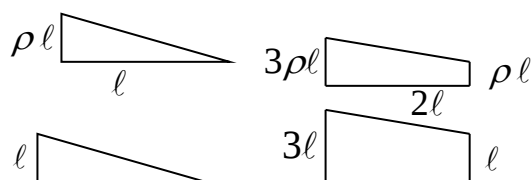


9.10-rasm. Pog'onali balkadagi solqilikni aniqlash.

9.2-jadvaldan foydalanib $\Delta \hat{A}^{ver}$ ni topamiz.

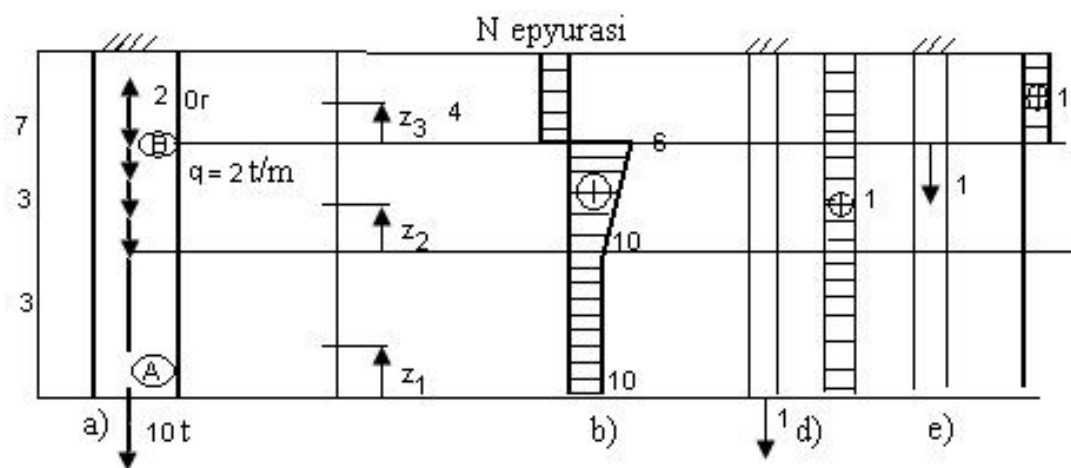
$$\Delta_B^{ver} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 2}{4EI} + \frac{4 \cdot 2 \cdot 2}{3EI} + \frac{1 \cdot 2 \cdot 2}{2EI} = \frac{11,9}{EI}$$





Cho'zilish-siqilish va buralishdagi ko'chishlarni aniqlashda Vereshchagin qoidasini qo'llash ayniqsa qulaydir.

Bu holda birlik kuch epyurasi to'g'ri to'rtburchakdan iborat, ya'ni ko'chish miqdor jihatidan tashqi kuch ta'siridan epyura yuzasini sterjen bikrligiga bo'linganiga teng. Misol tariqasida ko'ndalang kesim yuzasi $F=10 \text{ sm}^2$ bo'lgan, bo'ylama kuchlar bilan yuklangan po'lat serjen uzunligi o'zgarishini aniqlaylik (9.11-rasm).



9.11-rasm. Bir uchi qistirib mahkamlangan sterjenning A nuqtasidagi ko'chishni aniqlash.

Sterjen uzunligini o'zgarishi sterjen uchidagi A nuqtaning vertikal ko'chishiga teng bo'ladi.

Tashqi yukdan hosil bo'lgan (N_p) epyurasini quramiz (9.11b-rasm).

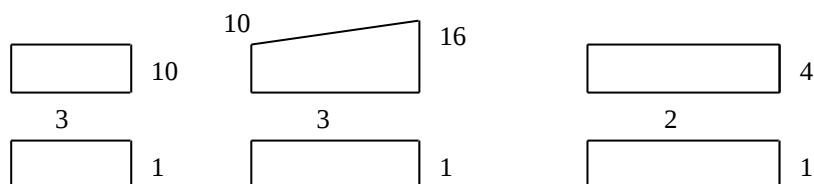
$$N_1 = 10 \text{ t}; \quad N_2 = 10 + q z_2; \quad z_2 = 0 \text{ da } N_2 = 10 \text{ t}$$

$$N_3 = 10 + 2 \cdot 3 - 20 = -4 \text{ t} \quad z_2 = 3 \text{ da } N_2 = 16 \text{ t}$$

A nuqtaga $P=1$ birlik kuch qo'yib, N_1 epyurasini quramiz (9.11d-rasm).

Vereshchagin qoidasi bo'yicha epyuralarni ko'paytiramiz.

$$\Delta_A = \frac{10 \text{ t} \cdot 3 \text{ m} \cdot 1}{EF} + \frac{(10 + 16) \text{ t} \cdot 3 \text{ m} \cdot 1}{2EF} - \frac{4 \text{ t} \cdot 2 \text{ m} \cdot 1}{EF} = \frac{61 \text{ tm}}{EF}$$



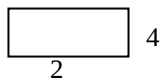
$E = 2 \cdot 10^6 \text{ kg/sm}^2$ va $F = 10 \text{ sm}^2$ ekanligini hisobga olsak

$$\overset{\text{ver}}{\Delta A} = 6100000 \text{ kg} \cdot \text{sm} / 2 \cdot 10^6 \text{ kg/sm}^2 \cdot 10 \text{ sm}^2 = 0,305 \text{ sm}.$$

Demak, ko'ndalang kesim yuzasi o'zgarish bo'lganda cho'zilgan yoki siqilgan sterjen uzunligi o'zgarishi miqdor jihatidan tashqi bo'ylama kuchlar epyurasi yuzasini sterjen bikrligiga bo'linganiga teng ekan.

Sterjen o'qi ixtiyoriy nuqtasi, masalan, B nuqtasi ko'chishini topish uchun unga birlik kuch yuklab, birlik kuch epyurasi quriladi (9.11d-rasm) va tashqi yuk epyurasi bilan ko'paytiriladi.

$$\overset{\text{ver}}{\Delta A} = -4 \cdot 2 \cdot 1 / EF = -8 \text{tm} / EF = -0,04 \text{ sm}.$$



(-) ishora B nuqta ko'chishi birlik kuch yo'nalishi bilan mos tushmasligini, ya'ni B nuqta tepaga ko'chishini bildiradi.



Ko'ndalang kesimi pog'onasimon ko'rinishdagi sterjenlarni cho'zilish yoki siqilishdagi ko'chishlarini aniqlashdan oldin normal kuchlanishlar epyurasini qurib olish maqsadga muvofiq. Misol tariqasida bo'ylama kuchlar bilan yuklangan pog'onasimon ko'ndalang kesimli po'lat sterjen uzunligi o'zgarishini aniqlashni ko'raylik (9.12 rasm).

Tashqi kuchlar ta'siridagi bo'ylama kuchlar (N_p) epyurasini quramiz (9.12b-rasm).

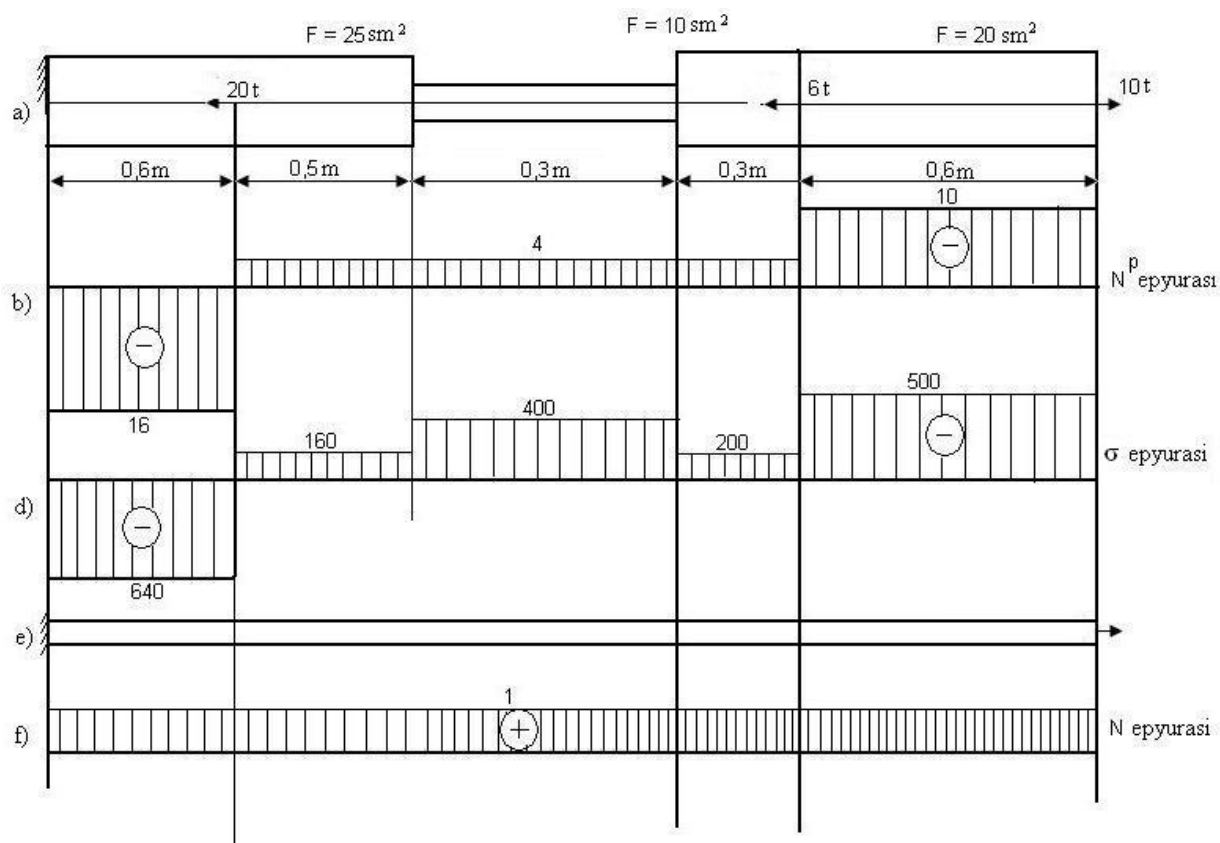
$$N_1 = 10 \text{ t}, N_2 = 10 - 6 = 4 \text{ t}, N_3 = 10 - 6 - 20 = -16 \text{ t}$$

σ epyurasini quramiz (9.12d-rasm).

$$\sigma = N / F, \sigma_1 = 10000 \text{ kg}/20 \text{ sm}^2 = 500 \text{ kg/sm}^2$$

$$\sigma_2 = 4000 / 20 = 200 \text{ kg/sm}^2, \sigma_3 = 4000 / 10 = 400 \text{ kg/sm}^2$$

$$\sigma_5 = 4000 / 25 = 160 \text{ kg/sm}^2, \sigma_6 = -16000 / 25 = -640 \text{ kg/sm}^2$$



9.12-rasm. Cho‘zilish va siqilish deformatsiyasida Vereshchagin usuli bilan ko‘chishlarni aniqlash:

a) berilgan pog‘onali brus; b) N^p – epyurasi; d) σ – epyurasi; e) brusga birlik kuch qo‘yilgan; f) birlik bo‘ylama kuch epyurasi.

A nuqtaga birlik kuchni yuklaymiz (9.12e-rasm) va N_l kuch epyurasini quramiz (9.12f-rasm).

$$\Delta_A = \frac{\omega_{N_p} \cdot 1}{EF}$$

Ammo, $\sigma = N/F$, N_p/EF epyura yuzasi « σ » epyurasi yuzasi ω_σ ni E ga bo‘linganiga teng bo‘lgani uchun

$$\Delta_A = \frac{\omega_\sigma}{E}$$

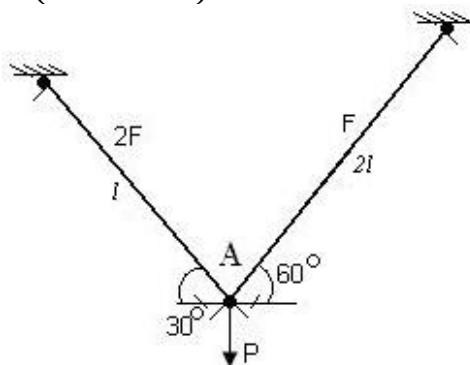
yoki

$$\Delta_A = \frac{500 \text{ kg/sm}^2 \cdot 60 \text{ sm} + 200 \text{ kg/sm}^2 \cdot 30 \text{ sm} + 400 \text{ kg/sm}^2 \cdot 30 \text{ sm} + 160 \text{ kg/sm}^2 \cdot 50 \text{ sm}}{2 \cdot 10^6 \text{ kg/sm}^2} - \frac{640 \text{ kg/sm}^2 \cdot 60 \text{ sm}}{2 \cdot 10^6 \text{ kg/sm}^2} = 0,0038 \text{ sm}$$

ya’ni sterjen uzunligi o‘zgarishi miqdor jihatidan normal kuchlanishlar epyurasi yuzasini material elastiklik moduliga bo‘linganiga teng.

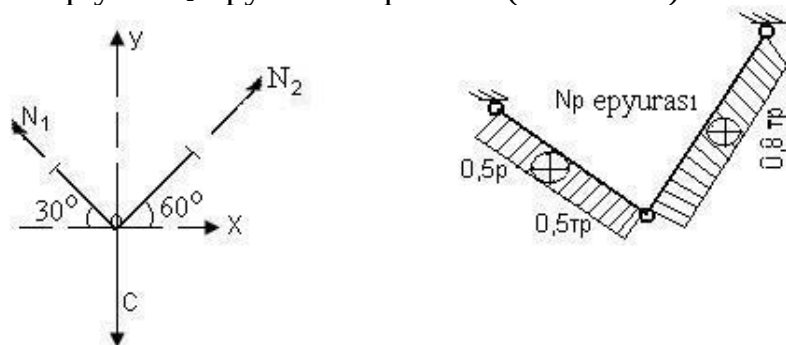
Mor – Vereshchagin usulini qo‘llab nafaqat alohida sterjenlar, balki sterjenlar sistemasi ko‘chishlarini ham osongina aniqlash mumkin. Misol tariqasida

sharnir vositasida bog'langan ikki sterjendan iborat sterjenli sistema A nuqtasining to'la ko'chishini aniqlaylik (9.13-rasm)



9.13-rasm. Sterjenli sistemalarda ko'chishlarni aniqlash.

A nuqtaning to'la ko'chishini topish uchun uning vertikal va gorizontal ko'chishlarini aniqlash kerak. Sterjenlar sharnir vositasida biriktirilgani uchun ko'ndalang kesimlarda faqat N bo'ylama kuch paydo bo'ladi. Ichki kuchlarni aniqlaymiz va tashqi yuk N_P epyurasini quramiz (9.14-rasm).



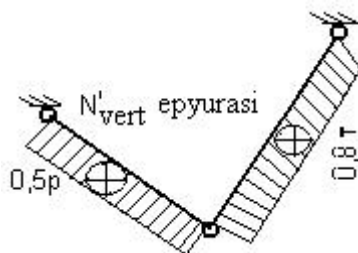
9.14-rasm. Sterjenda hosil bo'ladigan bo'ylama kuch epyurasi.

$$\sum X = N_1 \cos 30^\circ - N_2 \cos 60^\circ = 0, N_1 = 0,58N_2$$

$$\left. \begin{aligned} \sum Y = N_1 \cos 60^\circ + N_2 \cos 30^\circ - P = 0 \text{ yoki } 0,5N_1 + 0,86N_2 \\ N_1 = 0,58N_2 \end{aligned} \right\}$$

Bu yerda, $N_1 = 0,87P$, $N_2 = 0,5P$.

A nuqtani vertikal birlik kuch bilan yuklab, sterjenlardagi, birlik kuchdan hosil bo'lgan zo'riqishni topamiz va N_1^{vert} epyurasini quramiz (9.15-rasm).



9.15-rasm. Vertikal burchakli kuch ta'sirida qurilgan epyura.

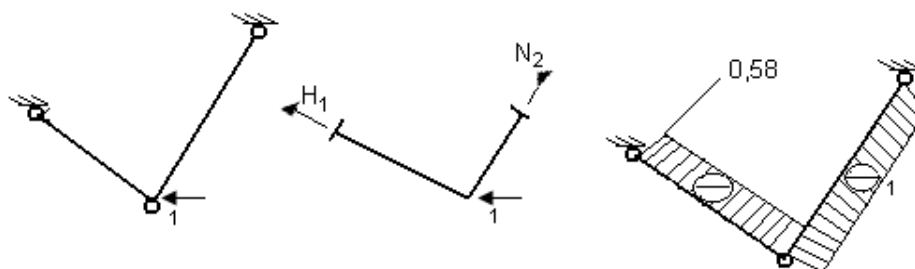
Vertikal birlik kuch ta'siridan hosil bo'lgan N^1 epyurasi N^p epyurasidan P ko'paytuvchi bilan farq qiladi.

N_p va N_1^{ver} epyuralarini ko'paytirib A nuqtaga vertikal ko'chishini aniqlaymiz.

$$\Delta_A^{ver} = \frac{0,5P \cdot \ell \cdot 0,5}{2EF} + \frac{0,87P \cdot 2\ell \cdot 0,87}{EF} = \frac{1,64P\ell}{EF}$$

Natijadagi (+) ishora vertikal ko'chish yo'nalishi birlik kuch yo'nalishida, ya'ni pastga yo'налganini bildiradi.

A nuqtaga gorizontal birlik kuch $r=1$ ni yuklab, birlik kuch ta'siridan sterjenlar zo'riqishini topamiz va N_1^{gor} epyurasini quramiz (9.16-rasm).



9.16-rasm. Gorizontal birlik kuch ta'sirida qurilgan epyura.

$$\begin{aligned}\sum Y &= N_1^1 \cos 60^\circ + N_2^1 \cos 30^\circ = 0, N_1^1 = -0,58 N_2^1 \\ \sum X &= 1 + N_1^1 \cos 30^\circ - N_2^1 \cos 60^\circ = 0, 0,5N_2^1 - 0,87 N_1^1 - 1 = 0 \\ N_1 &= -0,58 N_2^1\end{aligned}$$

Bu yerdan $N_2^1 = 1, N_1^1 = -0,58$

N_p va N_1^{gor} epyuralarni ko'paytirib A nuqta gorizontal ko'chishini aniqlaymiz.

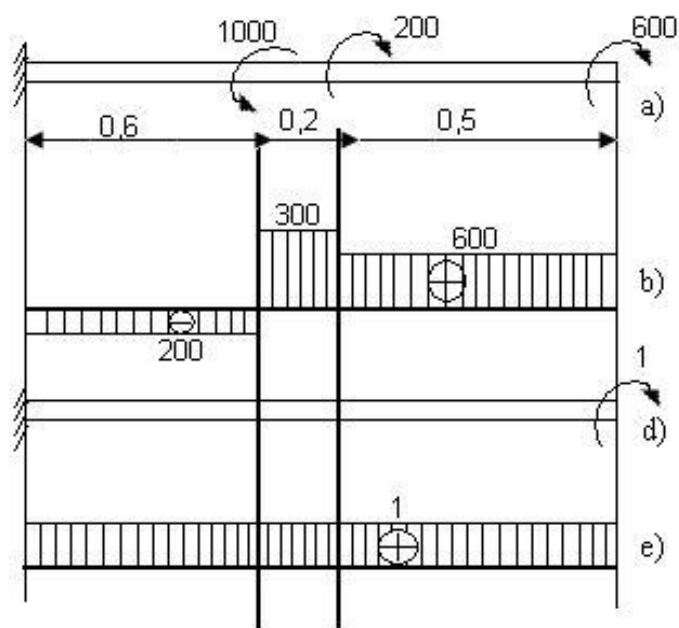
$$\Delta_A^{gor} = -\frac{0,5P \cdot 0,58\ell}{2EF} + \frac{0,87P \cdot 1 \cdot 2\ell}{EF} = \frac{1,56P\ell}{EF}$$

Natijadagi (+) ishora A nuqta gorizontal ko'chishi yo'nalishi birlik kuch yo'nalishida, ya'ni chapga yo'налganini anglatadi.

A nuqta to'la ko'chishini topamiz.

$$\Delta_A = \sqrt{(\Delta_A^{ver})^2 + (\Delta_A^{gor})^2} = \sqrt{\left(\frac{1,64P\ell}{EF}\right)^2 + \left(\frac{1,56P\ell}{EF}\right)^2} = \frac{2,3P\ell}{EF}$$

Mor – Vereshchagin usuli bilan buralishdagi deformatsiyalarni ya'ni burilish burchaklarini aniqlash ham nisbatan oson kechadi. Buralishda sterjen bikrligini ko'ndalang kesimi o'qqa nisbatan simmetrik bo'lgan sterjenlar (doira, halqa) uchun $I_p G$ ko'paytma, yoki ko'ndalang kesimi ixtiyoriy shakldagi sterjenlar uchun $I_b G$ ko'paytma aniqlaydi. Misol tariqasida 9.17a-rasmda keltirilgan doirasimon po'lat sterjen to'la buralish burchagini topish talab etilsin. Sterjen diametri 100mm ga teng.



9.17-rasm. Mor-Vereshchagin usuli bilan buralishdagi deformatsiyalarni aniqlash.

To'la buralish burchagi A nuqtadan o'tuvchi ko'ndalang kesimning buralish burchagiga teng.

Tashqi yuk ta'siridan buruvchi momentlar M_o^P epyurasini quramiz (9.17b-rasm).

$$M_1 = 600 \text{ kg} \cdot \text{m}, M_2 = 600 + 200 = 800 \text{ kg} \cdot \text{m}.$$

$$M_3 = 600 + 200 - 1000 = -200 \text{ kg} \cdot \text{m}.$$

A nuqtada birlik buruvchi momentni yuklaymiz va M_o^1 epyurasini quramiz (9.17d-rasm).

Vereshchagin qoidasi asosida M_P va M_1 epyuralarni ko'paytiramiz.

$$\varphi_1 = \frac{-20000 \text{ kg} \cdot \text{sm} \cdot 60 \text{ sm} \cdot 1 + 80000 \text{ kg} \cdot \text{sm} \cdot 20 \text{ sm} \cdot 1 + 60000 \text{ kg} \cdot \text{sm} \cdot 50 \text{ sm} \cdot 1}{I_p \cdot G} = \frac{380000 \text{ kg} \cdot \text{sm}^2}{I_p \cdot G}$$

200	800	600
0,6m	0,2	0,5
1	1	1

Doira uchun $I_p = 0,1d^4 = 0,1 (10)^4 \text{ sm}^4 = 1000 \text{ sm}^4$ ga teng. Po'lat uchun $G = 8 \cdot 10^5 \text{ kg/sm}^2$ ga teng.

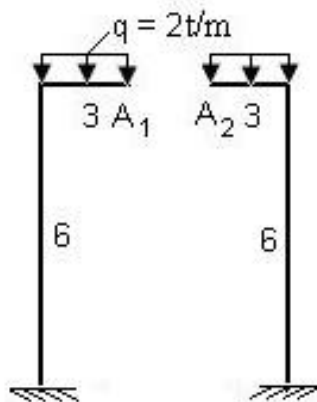
Shunday qilib, to'la buralish burchagi

$$\varphi_A = \frac{380000 \text{ kg} \cdot \text{sm}^2}{1000 \text{ sm}^4 \cdot 8 \cdot 10^5 \text{ kg/sm}^2} = 0,00048 \text{ rad}$$

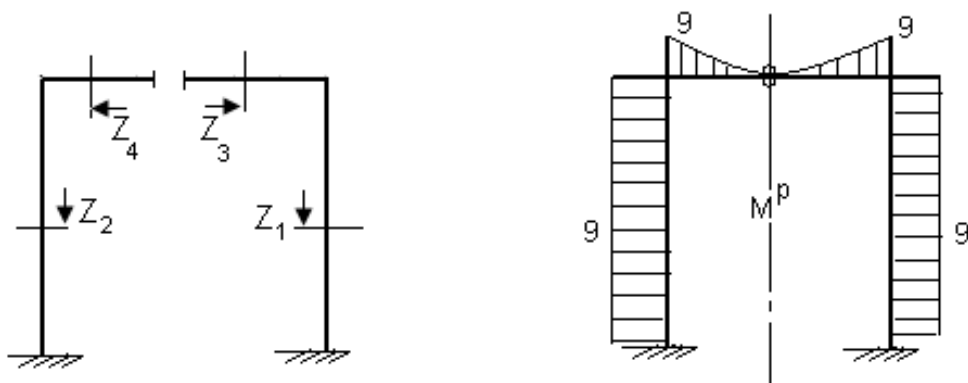
Natijadagi (+) ishora buralish burchagi yo'nalishi birlik moment yo'nalishi bilan bir xilligini bildiradi. Valning ko'ndalang kesimi o'zgarmas bo'lganda buralish burchagi miqdor jihatidan tashqi kuchlar ta'siridan buruvchi momentlar

epyurasi yuzasini valning buralishidagi bikrligiga bo'linganiga teng ekan. Ba'zi hollarda, masala shartiga ko'ra berilgan nuqtaning absolyut ko'chishini emas, balki ikki nuqtaning bir-biriga nisbatan ko'chishi kattaligini aniqlash talab etiladi. Yuqorida ko'rsatib o'tilganidek, bu holda ikkala nuqtaga qarama-qarshi tomonga yo'nalgan birlik kuchlar qo'yiladi. Bir-biriga nisbatan ko'chishni aniqlashni keyingi bosqichlari absolyut ko'chishni aniqlashdan farq qilmaydi. Buning uchun tashqi yuklama ta'siridagi kuchlar epyurasi quriladi, birlik kuchlar epyuralari quriladi va yuklama va birlik kuchlar epyuralari ko'paytirilib ko'chish topiladi. Misol tariqasida 9.18-rasmda keltirilgan rama A_1 va A_2 nuqtalarining bir-biriga nisbatan ko'chishini topaylik.

A_1 va A_2 nuqtalarning bir-biriga nisbatan ko'chishi vertikal va gorizontal yo'nalishlarda hamda A_1 , A_2 nuqtalardan o'tuvchi ko'ndalang kesimlarning bir-biriga nisbatan buralishdan iborat bo'lishi mumkin. Tashqi yuklama ta'siridagi kuchlar epyurasini quramiz (9.19-rasm). Berilgan sistema faqat egilishga ishlagani uchun ko'chishni aniqlashda sistema faqat eguvchi momentlarni ko'chishga ta'sirini hisobga olamiz.



9.18-rasm. Berilgan ramaning A_1 , A_2 nuqtalarining bir-biriga nisbatan ko'chishini aniqlash.



9.19-rasm. Tashqi kuch ta'siridan qurilgan M^p epyura.

$$M_1 = q z^2 / 2 \quad z_1 = 0 \text{ da } M = 0$$

$$M_2 = 9 t \cdot m \quad z_1 = 3 \text{ da } M = 9 t \cdot m$$

$$M_3 = q z_3 \quad z_3 = 0 \text{ da } M = 0$$

$$z_3 = 3 \text{ da } M = 9 t \cdot m$$

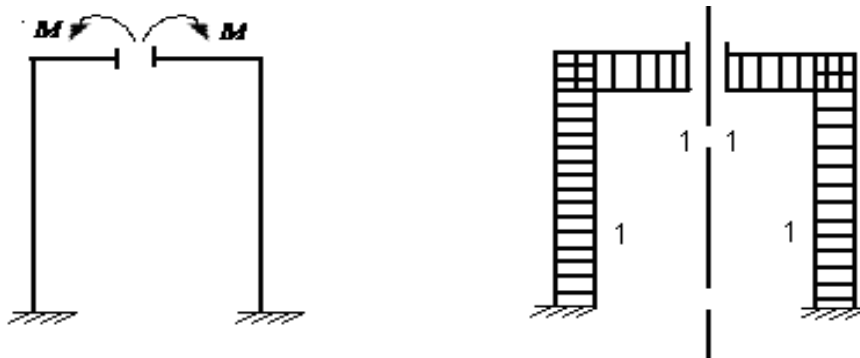
$$M_4 = 9 t \cdot m$$

M_p epyurasining vertikal o'qqa nisbatan simmetrikligi tashqi yuk va ramaning simmetrikligiga mos keladi.

A_1 va A_2 nuqtalardan o'tuvchi ko'ndalang kesimlar bir-biriga nisbatan buralish burchagini topish uchun bu nuqtalarga birlik momentlar yuklab, birlik epyurani quramiz (9.20-rasm).

$$M_1^1 = 1, \quad M_2^1 = 1$$

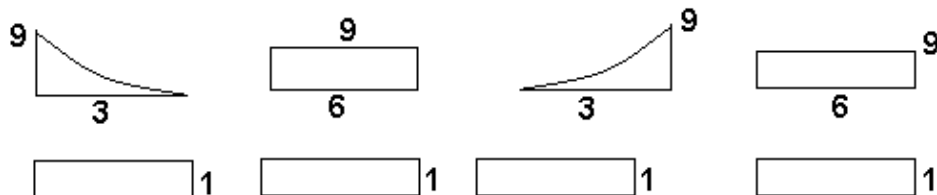
$$M_3^1 = 1, \quad M_4^1 = 1$$



9.20-rasm. Birlik moment ta'siridan qurilgan epyura.

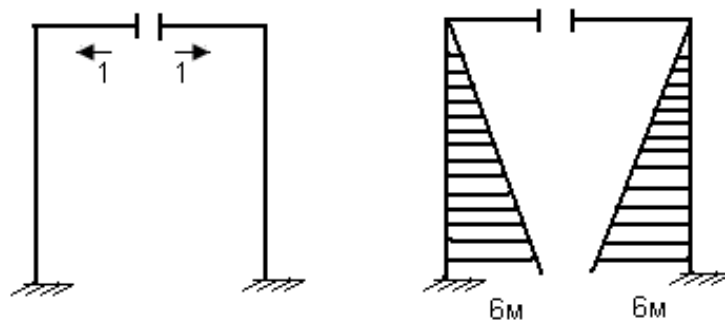
M^1 epyurasi vertikal o'qqa nisbatan simmetriyaga ega. M_p va M^1 epyuralarni ko'paytirib bir-biriga nisbatan buralish burchagini topamiz.

$$\theta_{A_1 A_2} = \frac{(-9)3 \cdot 1}{3EI} + \frac{(-9) \cdot 6 \cdot 1}{EI} + \frac{(-9)3 \cdot 1}{3EI} + \frac{(-9)6 \cdot 1}{EI} = -\frac{126}{EI}$$



Natijadagi (-) ishora A_1 va A_2 nuqtalardan o'tuvchi ko'ndalang kesimlar bir-biriga nisbatan buralish burchagi yo'nalishi birlik moment yo'nalishiga qarama-qarshi ekanligini bildiradi.

A_1 va A_2 nuqtalar bir-biriga nisbatan gorizontal ko'chishini aniqlash uchun ularni gorizontal birlik kuchlar bilan yuklab, M_{gor}^1 epyurasini quramiz (9.21-rasm).



9.21-rasm. Gorizontalkuch ta'siridan qurilgan birlik epyura.

$$M_1 = 0$$

$$M_2 = 1 \cdot z_2, \quad z_2 = 0 \text{ da } M = 0$$

$$z_2 = 6 \text{ m da } M = 6 \text{ m}$$

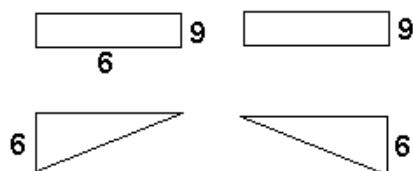
$$M_3 = 0$$

$$M_4 = 1 \cdot z_4, \quad z_4 = 0 \text{ da } M_7 = 0,$$

$$z_4 = 6 \text{ m da } M = 6 \text{ m}$$

A_1 va A_2 nuqtalar bir-biriga nisbatan gorizontalko'chishini topish uchun M_1 va M_2 epyuralarni ko'paytiramiz.

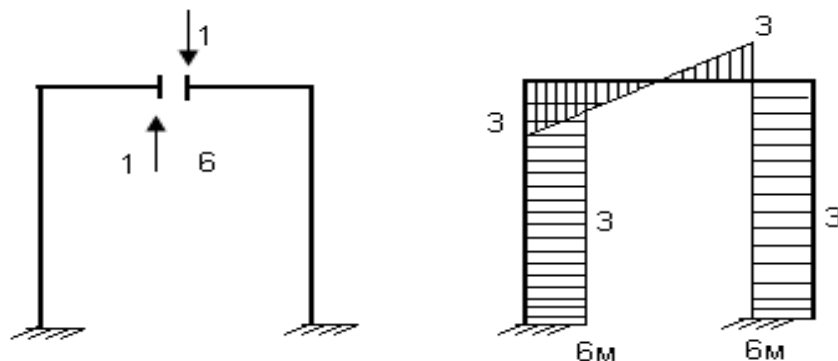
$$\Delta_{A_1 A_2} = + \frac{(-9)6 \cdot 6}{2EI} + \frac{(-9) \cdot 6 \cdot 6}{2EI} = - \frac{324m^3}{EI}$$



Natijadagi (-) ishora A_1 va A_2 nuqtalarning bir-biriga nisbatan gorizontalko'chishi birlik kuchlar yo'nalishiga teskari ekanligini bildiradi.

Epyuralar simmetrik bo'lgan holda birinchi yarim epyuralarini ko'paytirib, olingan natijani ikkiga ko'paytirish kifoya ekanligi ko'rinib turibdi.

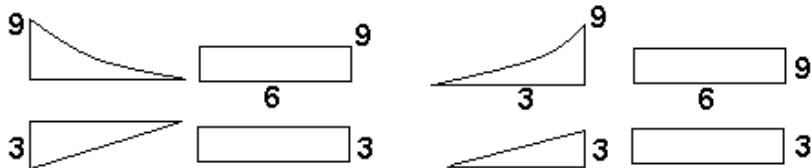
A_1 va A_2 nuqtalarni bir-biriga nisbatan vertikal ko'chishini aniqlash uchun ularni vertikal birlik kuch bilan yuklab, M_1 epyurasini quramiz (9.22-rasm).



9.22-rasm. Vertikal kuch ta'siridan qurilgan birlik epyura.

$$\begin{aligned}
M_1 &= 1 \cdot z_1 & z_1 = 0 \text{ da } M &= 0 \\
& & z_1 = 3\text{m} \text{ da } M &= 3\text{m} \\
M_2 &= 3\text{m} \\
M_3 &= -1 \cdot z_3 & z_3 = 0 \text{ da } M &= 0 \\
& & z_3 = 3\text{m} \text{ da } M &= -3\text{m} \\
M_4 &= -3\text{m}
\end{aligned}$$

Vertikal birlik kuch ta'siridan M_1 epyurasi vertikal o'qqa nisbatan «qiya simmetrik» dir, qiya simmetrik so'zi ma'nosi ostida mos epyuralar ordinatalarining simmetriya o'qiga nisbatan qiymatlari tengligi va ishoralari qarama-qarshiligi tushuniladi. A_1 va A_2 nuqtalar bir-biriga nisbatan vertikal ko'chishini topish uchun M_p va M_1 epyuralarni ko'paytiramiz.

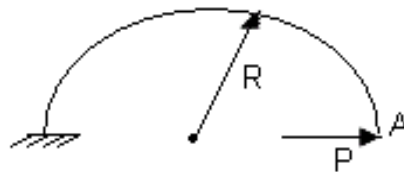
$$\Delta_{A_1 A_2}^{ver} = \frac{(-9) \cdot 3 \cdot 3}{4EI} + \frac{(-9) 6 \cdot 3}{EI} + \frac{(-9) 3 (-3)}{4EI} + \frac{(-9) 6 \cdot (-3)}{EI} = 0$$


A_1 va A_2 nuqtalar bir-biriga nisbatan vertikal ko'chishi nolga teng. Bundan A_1 va A_2 nuqtalar absolyut vertikal ko'chishi nolga tengligi kelib chiqadi. Ushbu nuqtalar vertikal ko'chishlari o'zaro teng va bir xil tomonga yo'nalgan.

Misolimizda simmetrik va qiyasimmetrik epyuralar ko'paytirildi. Ushbu ko'paytirish natijasi doimo nolga teng bo'ladi.

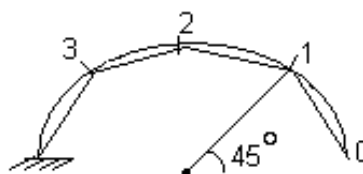
Egri chiziqli sterjenlar ko'chishlarini aniqlash uchun ham aniq darajadagi yaqinlashish asosida Vereshchagin qoidasini qo'llash mumkin.

Bu holda egri chiziqli sterjenni bir necha uchastkalardan iborat siniq sterjen bilan almashtiriladi va har bir uchastka doirasida ordinata o'zgarishi chiziqli qonunga bo'ysunadi deb faraz qilinadi. Misol tariqasida doirasimon bo'ylama o'qli konsol sterjen (9.23-rasm).



9.23-rasm. Doirasimon bo'ylama o'qli konsol sterjen

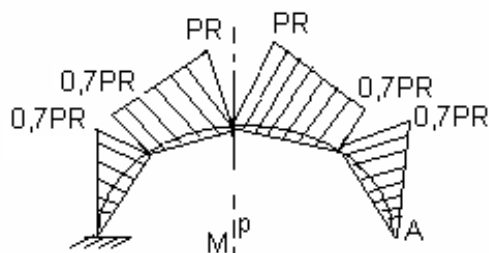
Doirani unga ichki chizilgan siniq chiziqlar bilan almashtiramiz va shu tariqa sterjen o'qini uchastkalarga bo'lamiz (9.24-rasm).



9.24-rasm. Berilgan sterjen uchastkalari.

Har bir uchastka uzunligi va momentlar epyuralari ordinatasini aniqlaymiz. Har bir uchastka uzunligi $0,76 R$ ga teng. Tashqi yuklama ta'siridagi epyura ordinatasi $M = PR \sin \varphi$ ga teng.

0 kesim	$\varphi = 0^\circ$	$\sin \varphi = 0$	$M = 0$
1 kesim	$\varphi = 45^\circ$	$\sin \varphi = 0,7$	$M = 0,7 PR$
2 kesim	$\varphi = 90^\circ$	$\sin \varphi = 1$	$M = PR$
3 kesim	$\varphi = 135^\circ$	$\sin 135^\circ = 0,7$	$M = 0,7 PR$
4 kesim	$\varphi = 180^\circ$	$\sin 180^\circ = 0$	$M = 0$

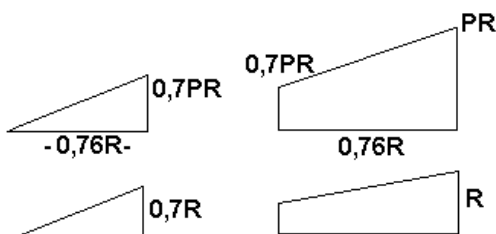


9.25-rasm. Tashqi kuchdan qurilgan M^P epyura.

Ushbu kattaliklar asosida tashqi yuk ta'siridan taqribiy epyurani quramiz (9.25-rasm). Birlik kuch ta'siridan hosil bo'lgan epyura tashqi yuklama epyurasidan ρ doimiy ko'paytmaga farq qiladi. Epyuralarni Vereshchagin qoidasi bo'yicha ko'paytiramiz.

Epyuralar vertikal o'qqa nisbatan simmetrik bo'lgani uchun Epyuralar yarmini ko'paytirib natijani ikkilantirish kifoya qiladi.

$$\Delta_A^{ver} = 2 \left\{ \frac{0,7PR \cdot 0,7R \cdot 0,76R}{3EI} + \frac{0,76R}{6EI} [2(0,7PR \cdot 0,7R + PR \cdot R) + 0,7R \cdot PR + 0,7PR \cdot R] \right\} = 1,4PR^3$$



Olingan natijani Mor integrali bo'yicha olingan aniq javob bilan solishtirsak (9.5-rasm) 10% farq mavjudligi ko'rinadi. Bu kattalikni kamaytirish uchun sterjen o'qishni ko'proq uchastkalarga bo'lish kerak.

Nazorat savollari:

1. Mor usuli qanday shart-sharoitlarga asoslangan?
2. Ushbu usul qanday sistemalar uchun qo'llaniladi?
3. Birlilik kuch qanday o'lchovga ega?
4. Egilish, cho'zilish-siqilish, buralish va siljishda bikrlilik qanday aniqlanadi?
5. Chiziqli va burchakli ko'chish qanday bikrliklarda o'lchanadi?
6. Vereshchagin qoidasini qanday hollarda qo'llash mumkin?
7. Vereshchagin qoidasi bo'yicha ko'chish aniqlanganda uning ishorasi qanday topiladi?
8. Mor-Vereshchagin usuli bilan ko'chishlarni aniqlanganda (+), (-) ishoralar nimani bildiradi?
9. Mor-Vereshchagin usulida ko'ndalang kesimi o'zgaruvchi sterjenlar va egri o'qli sterjenlar ko'chishi qanday aniqlanadi?

12-mavzu: Statik noaniq sistemalarni kuch usulida hisoblash.

Agar sistemaning barcha ko'ndalang kesimlaridagi ichki kuchlarni faqat statika tenglamalaridan foydalanib aniqlab bo'lmasa, bunday sistemalar statik noaniq sistema deyiladi. Ushbu holat sistema tayanchlaridagi reaksiya kuchlari soni statika tenglamalaridan ortiq bo'lsa yoki sistemada yopiq kontur mavjud bo'lsa yoki yuqoridagi ikki hol birga kelsa sodir bo'ladi. Sistema birinchi holda shartli ravishda tashqi tomondan statik noaniq, ikkinchi holda ichki tomondan statik noaniq, uchinchi holda aralash noaniq sistema deb ataladi. Statik noaniqligi turidan qat'iy nazar barcha statik noaniq sistemalar «ishlashi» xuddi shunday statik aniq sistemalariga nisbatan bir qator o'zgacha xususiyatlarga ega bo'ladi.

Ushbu xususiyatlar quyidagilar:

1. Bu sistemalarda kuchlar taqsimoti faqat tashqi yuklanishga emas, balki konstruksiya alohida elementlari bikrligiga ham bog'liq bo'ladi.
2. Statik noaniq sistemalar ko'ndalang kesimlarida harorat o'zgarishi bilan harorat kuchlanishlari deb ataluvchi kuchlanishlar hosil bo'ladi.
3. Statik noaniq sistemalar ko'ndalang kesimlarida tayanchlar ko'chishida (cho'kishida) – qoldiq kuchlanishlari hosil bo'ladi.
4. Alohida qismlardan iborat sistema yig'ilganda, qismlarni tayyorlash vaqtidagi noaniqliklar, geometrik o'lchamlaridagi qusurlar tufayli montaj kuchlanishlari hosil bo'ladi.

Yuqorida sanab o'tilgan xususiyatlar statik noaniq sistemalar faoliyatining xuddi shunday statik aniq sistemalariga nisbatan kamchiligi hisoblanadi.

Statik noaniq sistemalarning qulayligi shundan iboratki, ularni qo'llash natijasida salmoqli iqtisodga erishiladi, chunki ko'ndalang kesim o'lchamlari kichik, bu esa xususiy og'irlik kichikligiga olib keladi. Bu hol sistema alohida elementlari o'rtasidagi kuchlanishlari tashqi yuk ta'siridan tekis taqsimlanishi bilan bog'liq. Statik noaniq sistemalar hisobi statik aniq sistemalariga nisbatan ichki kuchlar epyuralarini qurishda farq qiladi. Keyingi hisoblashlar – ko'ndalang kesim o'lchamlarini aniqlash, mustahkamlikka tekshirish, deformatsiyalarni aniqlash va boshqalar asosan mos tushadi. Statik noaniq sistemalarni ichki kuchlar epyuralarini

qurish imkoniyati bir necha usullarda (hisoblash usullari) olib boriladi va statik noaniqlikni yo'qotish deb ataladi.

Statik noaniq sistemalar hisobining asosiy usuli u yoki bu ma'noda barcha usullarga asos yaratuvchi kuch usulidir.

Kuch usulining asosiy tushuncha va g'oyalari

Kuch usulida statik noaniqlikni yo'qotish jarayonida aniqlanishi kerak bo'lgan noma'lumlar sifatida sistemaga qo'yilgan bog'lanishlar ta'siridan hosil bo'luvchi tayanch reaksiya kuchlari va ichki kuchlar olinadi. Yuqorida ta'kidlanganidek, ushbu kuchlarning statika tenglamalari sonidan ortig'i soni sistemaning noaniqlik darajasini belgilaydi. Statik noaniqlik darajasini aniqlash uchun bir qator ifodalar mavjud bo'lib, ular ichida eng soddasi

$$n = 3k - 2u_k - u_q \quad (10.1)$$

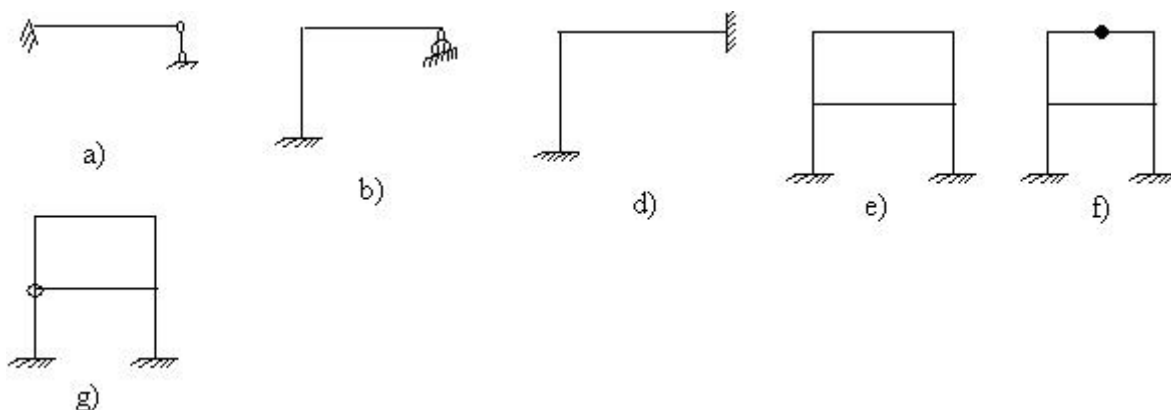
Bu yerda n – statik noaniqlik darajasi, k – inshoot sterjenlari yoki inshoot sterjenlari bilan yer hosil qilgan berk konturlar soni, u_k – qo'zg'aluvchi sharnirli tayanchlar soni, u_q – qo'zg'almas sharnirli tanchlar yoki oddiy sharnirlar soni.

Sistemaning statik noaniqligini aniqlashga bir qator misollar ko'ramiz (10.1-rasm).

Berilgan sxemalar uchun statik noaniqlik darajasini aniqlaymiz.

- «a» sxema uchun $n = 3.1 - 2.1 - 0 = 1$;
- «b» sxema uchun $n = 3.1 - 2.0 - 1 = 2$;
- «d» sxema uchun $n = 3.1 - 2.0 - 0 = 3$;
- «e» sxema uchun $n = 3.2 - 2.0 - 0 = 6$;
- «f» sxema uchun $n = 3.2 - 2.0 - 1 = 5$;
- «g» sxema uchun $n = 3.2 - 2.0 - 2.1 = 4$;

«g» sistemaning o'ziga xos jihati chap sharnir murakkabligi, ya'ni ikkita emas, balki uchta sterjenni tutashtirganligidir. Bunday sharnir ikkita oddiy qo'zg'almas sharnirga mos keladi. Umuman olganda, murakkab sharnirga kiruvchi oddiy sharnirlar soni bog'lanayotgan sterjenlar sonidan birni ayrilganiga teng. Sistemani hisoblash uchun statika tenglamalariga qo'shimcha statik noaniqlik soniga teng bo'lgan tenglamalar sistemasini tuzish kerak.



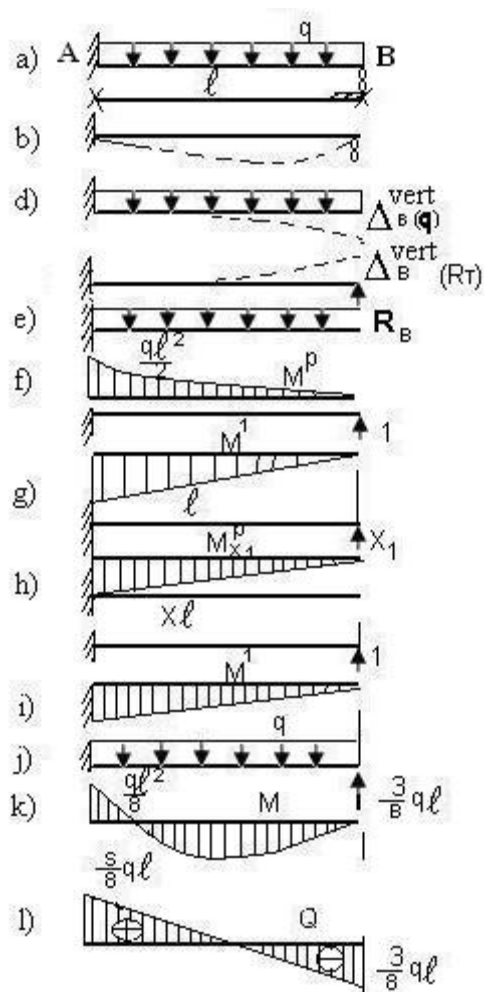
10.1-rasm. Statik noaniq sistemalar:

- a) 1 marta statik aniqmas sistema; b) 2 marta statik aniqmas sistema;
- d) 3 marta statik aniqmas sistema; e) 6 marta statik aniqmas sistema;
- f) 5 marta statik aniqmas sistema; g) 4 marta statik aniqmas sistema

Kuch usulida sistema deformatsiyalanish sxemasidan foydalanib qo'shimcha tenglamalar tuziladi. Buni quyidagi sodda misolda ko'rib chiqamiz (10.2-rasm). Sistema statik noaniqlik darajasi 1 ga teng. Sistema sxemasi deformatsiyalanishidan (10.2b-rasm), barcha nuqtalari ko'chishlari qiymati qanday bo'lishidan qat'iy nazar, quyidagilar ma'lum hisoblanadi $\Delta_A^{ver} = 0$, $\theta_A = 0$, $\Delta_B^{ver} = 0$. Ushbu munosabatlarning ixtiyoriysidan hisoblashlarda foydalanishimiz mumkin. Masalan, B nuqtaning vertikal ko'chishi ikkita tashkil etuvchidan iborat – tashqi yuk ta'siridan (B nuqta pastga ko'chadi $\Delta_B^{ver}(q)$) va B nuqta tayanch reaksiyasidan (B nuqta yuqoriga ko'chadi – $\Delta_B^{ver}(R_B)$) (10.2d,e rasmlar). Berilgan sxemada Δ_B^{ver} nolga teng, ya'ni

$$\Delta_A^{ver}(q) + \Delta_B^{ver}(R_B) = 0 \quad (10.2)$$

Bu yerdagi (10.2) tenglama kuch usulidagi statik noaniqlikni ochib beruvchi qo'shimcha tenglamalardir. 10.2 tenglamaga kiruvchi ko'chishlarni Mor-Vereshchagin usulini qo'llab aniqlaymiz. Buning uchun tashqi yuk ta'siridagi kuchlar (M^P) epyurasi quriladi, ko'chishi topilayotgan nuqtaga $P = 1$ birlik kuch qo'yib, birlik kuch M^1 epyurasi quriladi va M^P va M^1 epyuralarini ko'paytirib ko'chish topiladi. $\Delta_A^{ver}(q)$ ko'chishni aniqlaylik. 10.2f,g-rasmlarda tashqi yuk va birlik kuch ta'siridan hosil bo'lgan epyuralar keltirilgan.



10.2-rasm. Kuch usulida ko'chishlarni aniqlash uchun sistemaning deformatsiyalanish sxemasi:

- a) berilgan sistema;
- b) sistemaning ko'chishi;
- d) tashqi va reaksiya kuchidan hosil bo'ladigan ko'chish;
- e) tashqi kuch ta'sir etgan hol;
- f) tashqi kuchdan qurilgan M^P epyura;
- g) birlik kuch ta'siridan qurilgan epyura;
- h) x_1 kuch ta'siridan qurilgan moment epyurasi;
- i) birlik vertikal kuchdan qurilgan epyura;
- j) balkaning reaksiya kuchi aniqlangandan keyingi ko'chish;
- k) eguvchi moment (M) epyurasi;
- l) ko'ndalang kuch (Q) epyurasi

9.2-jadvaldan foydalanib M^P va M^1 epyuralarni ko'paytiramiz va quyidagini olamiz:

$$\Delta_{\hat{A}}^{ver}(q) = -\frac{q \cdot \ell^2}{2} \cdot \ell \cdot \ell = -\frac{q \cdot \ell^4}{8EI}$$

B nuqtaning R_B reaksiya ta'siridagi ko'chishini topamiz. Reaksiya kuchi miqdori noma'lum bo'lgani uchun uni X_1 deb belgilaymiz. B nuqtaga X_1 kuchni ta'sir ettirib, $M_{X_1}^P$ epyurasini quramiz (10.2h-rasm). R_B ta'siridagi ko'chishni aniqlashda bu epyura tashqi yuk ta'siridagi epyura bo'ladi. B nuqtaga vertikal birlik kuch qo'yib, M^1 epyurasini quramiz (10.2i-rasm).

Epyuralarni ko'paytirib X_1 (R_B reaksiya) kuchi ta'siridan ko'chish kattaligini topamiz

$$\Delta_{\hat{A}}^{ver}(\tilde{\alpha}_1) = \frac{X_1 \cdot \ell \cdot \ell \cdot \ell}{3EI} = \frac{X_1 \cdot \ell^3}{3EI}$$

Olingan natijalarni (10.2) tenglamaga qo'ysak

$$\frac{x_1 \cdot \ell^3}{3EI} - \frac{q \cdot \ell^4}{8EI} = 0 \quad \text{yoki} \quad X_1(R_B) = \frac{3}{8} q \cdot \ell$$

Shunday qilib, R_B reaksiyasi aniqlandi va u sistemani tashqi yuk va aniqlangan R_B reaksiyani yuklab, berilgan sistema uchun ichki kuchlar epyurasini qurish imkonini beradi (10.2j-rasm). $M_1 = \frac{3}{8}q \cdot \ell \cdot z_1 - \frac{qz_1^2}{2}$ va

$Q_1 = -\frac{3}{8}q \cdot \ell + qz$ tenglamalar asosida yakuniy epyuralarni quramiz (10.2k,l-rasmlar).

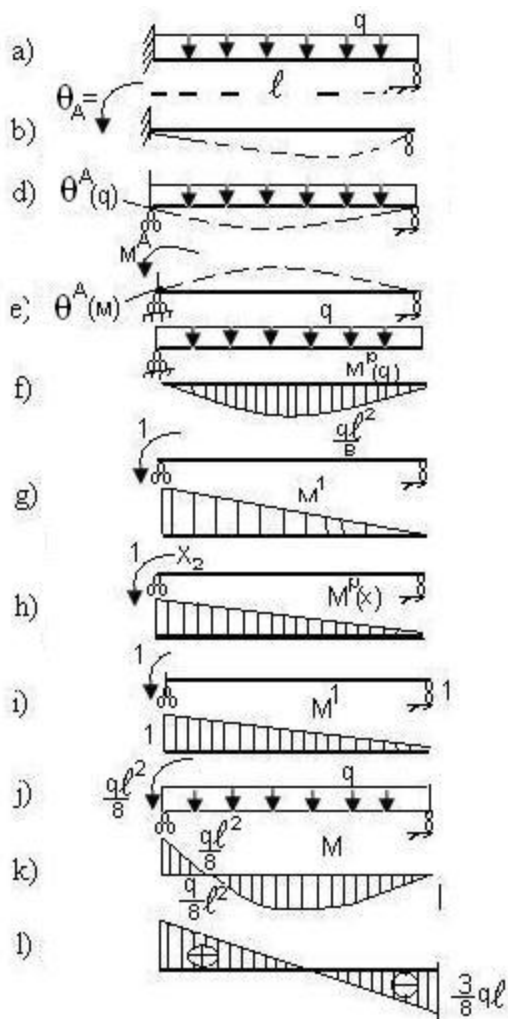
Olingan natijalarni solishtirish uchun statik noaniqlikni ochishdagi boshqa shart – A kesim buralish burchagini nolga tengligidan foydalanamiz (10.3-rasm). Bu holda kesim burilish burchagi tashqi yuk ta'siridan oddiy balka «A» kesimi buralishi (10.3b-rasm) va X_1 orqali belgilanuvchi kuchdan hosil bo'lgan reaktiv moment ta'sirida «A» kesim burilishlaridan iborat. Kuchlar usulining qo'shimcha tenglamasi ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$\theta_{X_1}^A + \theta_q^A = 0 \quad (10.3)$$

Mor-Vereshchagin usulini qo'llab tashqi yuk va X reaktiv momenti ta'siridan balka burilish burchagini topamiz. Buning uchun tashqi yuk ta'siridan epyurani quramiz, buralish burchagi topilayotgan nuqtaga birlik moment yuklab, birlik moment epyurasini quramiz va bu epyuralarni ko'paytiramiz. Tashqi yuk ta'siridan M_q^P epyurani quramiz (10.3g-rasm), A nuqtaga birlik moment qo'yib M^1 epyurasini quramiz (10.3-rasm). M_q^P va M^1 epyuralarni ko'paytirsak

$$\theta_q^A = \frac{\left(-\frac{q \cdot \ell^2}{8}\right) \cdot \ell \cdot \ell}{3EI} = -\frac{q \cdot \ell^4}{24EI}$$

X_1 ta'siridan noma'lum reaktiv moment burilish burchagini aniqlashda tashqi yuk hisoblanadi. Bu momentni balkaga yuklab, $M_{X_1}^P$ epyurasini quramiz (10.3g-rasm). A nuqtaga birlik momentni yuklab M^1 moment epyurasini quramiz (10.3h-rasm). Bu epyuralarni ko'paytirib X_1 moment ta'siridan A nuqtadan o'tuvchi kesim buralish burchagini topamiz:



10.3-rasm. 10.2-rasmdagi balkani kesim buralish burchagini topish orqali aniqlash sxemasi:

- a) berilgan balka;
- b), d) tashqi kuch ta'siridan balkadagi ko'chishlar;
- e) tayanch kuch ta'siridagi ko'chish;
- f) tashqi kuch ta'siridan qurilgan epyura;
- g) birlik moment ta'siridan qurilgan epyura;
- h) x_2 moment ta'siridan qurilgan epyura;
- i), j) birlik tayanch momentta'siridagi epyura;
- k) eguvchi moment epyurasi;
- l) kesuvchi kuch epyurasi

$$\theta_{X_1}^A = \frac{X_1 \cdot \ell \cdot \ell}{3EI} = -\frac{X_1 \cdot \ell^2}{3EI}$$

Hosil qilinganlarni (10.3) tenglamaga qo'yib X_1 kattaligini topamiz

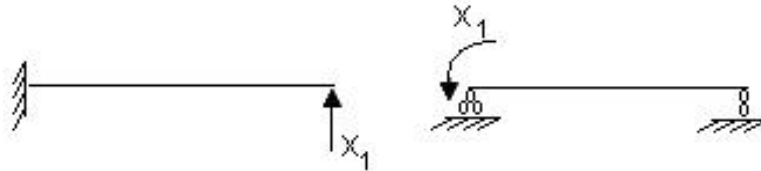
$$\frac{X_1 \cdot \ell^2}{3EI} - \frac{q \cdot \ell^4}{24EI} = 0 \quad \text{yoki} \quad X_1 = \frac{1}{8} q \cdot \ell^2$$

X_1 kattalik aniqlanishi bilin statik noaniqlik ochildi va balkaga tashqi yukni yuklab, aniqlangan X_1 qiymati asosida berilgan sxema (10.3j) uchun M , Q epyuralarni qurishimiz mumkin (10.3k,l-rasmlar).

Ko'rinib turibdiki (10.2k,l- va 10.3k,l-rasmlar) yakuniy epyuralar, ya'ni yakuniy yechim qo'shimcha tenglama hosil qilish uchun ishlatilgan deformatsiya shartiga bog'liq emas. Umuman olganda, statik noaniqlikni ochish uchun qurilgan qo'shimcha tenglamalarga kirgan ko'chishlarni Mor-Vereshchagin usuli bilan topish majburiy emas, ko'chishni ixtiyoriy boshqa usulda ham topsa bo'ladi. Masalan, bevosita integrallash usuli. Birinchi marta ushbu usul yuqorida ko'rilgan masalani yechish uchun L. Navye tomonidan qo'llanilgan. Ammo Mor-Vereshchagin usuli bilan ko'chishlarni aniqlashni qo'llash turli xil statik noaniq sistemalar hisobini bir xil qilish imkoniyatini beradi.

Hisob qilinayotgan statik noaniq sistemani berilgan sistema deb atashga kelishib olamiz. Yuqorida keltirilgan misollarda sistema yechimi berilgan

sistemada bir bog‘lanishni tashlab yuborib, uni o‘rniga noma’lum kuch yo‘nalishi tashlab yuborilgan bog‘lanish reaksiya kuchi (birinchi holda R_B –reaksiyasi, ikkinchi holda qistirib mahkamlangan jism momenti) bilan almashtirildi. Hosil qilingan bog‘lanishlarni tashlab yuborib, tashlangan bog‘lanishlar yo‘nalishi bilan mos keluvchi noma’lum kuchlar qo‘yilgan sistema asosiy sistema (A.S) deyiladi. Oldingi masalalardan asosiy sistema 10.2g- va 10.3g-rasmlarda keltirilgan. Asosiy sistemani tuzishda tashlab yuborilayotgan bog‘lanishlar soni sistema noaniqlik darajasiga teng bo‘ladi (10.4-rasm).



10.4-rasm. 10.2-rasmdagi sxema uchun asosiy sistemalarning ko‘rinishi.

Asosiy sistemaga qo‘yiladigan talablar bu – statik aniqlik va geometrik shakl o‘zgartirmaslikdir, ammo ba’zi hollarda bu shart bajarilmasligi mumkin. Har bir sistema uchun odatda hohlagancha asosiy sistema tuzish mumkin. Hisoblashlar uchun olinadigan A.S ni tanlash masala shartlariga va loyihachi mahoratiga bog‘liq. Tuzilayotgan qo‘shimcha tenglamalardagi ko‘chishlar chiziqli yoki burchakli ekanligidan qat’iy nazar Δ (delta) orqali belgilanadi. Har bir ko‘chish, ko‘chishi aniqlanayotgan nuqtani, ko‘chish yo‘nalishini, ko‘chishni hosil qiluvchi kuch yoki yukni bildiruvchi 3 ta indeksiga ega bo‘lishi kerak. Kuch usuli qo‘shimcha tenglamalariga kiruvchi ko‘chishlar uchun 2 ta indeksdan foydalanish yetarli, chunki noma’lum kuchlar qo‘yilish nuqtasi ko‘chishlari doimo aniqlanadi, ya’ni nuqta va ko‘chish yo‘nalishini topish uchun bitta indeks kifoya.

Masalan, $\Delta_B^{ver}(R_B)$ ni Δ_{11} deb yozish mumkin va u X_1 noma’lum kuch yo‘nalishidagi X_1 kuch qo‘yilgan nuqta ko‘chishini anglatadi, $\Delta_B^{ver}(q)$ ni Δ_{1P} deb yozilganda u tashqi yuk ta’siridan X_1 kuch qo‘yilgan nuqta ko‘chishini bildiradi. Xuddi shu kabi

$$\theta_{(x_1)}^A = \Delta_{11}, \theta_q^A = \Delta_{1P}.$$

Yuqorida ko‘rilgan ikkala hol uchun qo‘shimcha tenglama bir xil yoziladi; $\Delta_{11} + \Delta_{1P} = 0$. 10.2- va 10.3-rasmlarda keltirilgan masalalarda tashqi yuk ta’siri va X_1 noma’lum kuch ta’siridan (10.2g,i- va 10.3g,i-rasmlar) birlik kuch epyuralari bir xil, X_1 noma’lum kuch epyurasi (10.2h-, 10.3h- rasmlar) faqat X_1 ko‘paytuvchiga farq qiladi. Qo‘shimcha bog‘lanishlar tuzmaslik uchun noma’lum kuchlar X_1 , X_2 va hokazolarni bir xil kuch o‘lchamida, masalan bir tonna (noma’lum momentni bir tonna metr) da olib X_1 , X_2 , ..., X_n o‘lchamsiz koeffitsientga ko‘paytirish kerak. Bu holda 3 ta epyura o‘rniga (ikkita birlik kuch

reaksiyalari aniqlanadi va bu statik noaniqlikni ochish hisoblanadi. Ushbu natijalar ichki kuchlarning yakuniy epyuralarini qurish imkonini beradi, buning uchun asosiy sistemaga tashqi yukni va aniqlangan reaksiya kuchlari qo'yiladi.

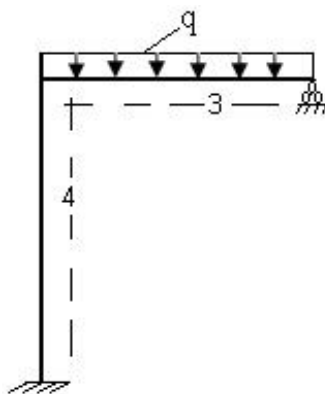
Bu sistema to'la yuklanishdagi asosiy sistema deb ataladi. To'la yuklanishdagi asosiy sistema, ichki kuchlar epyuralari berilgan sistema epyuralari ya'ni ichki kuchlar yakuniy epyuralari bo'ladi.

Shunday qilib, kuch usuli bilan statik noaniq sistemalar hisobi quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

1. Statik noaniqlik darajasi aniqlanadi.
2. Bir nechta variantda asosiy sistema tuzilib, ular ichidan hisob uchun bittasi tanlanadi.
3. Kanonik tenglamalar sistemasi tuziladi.
4. Asosiy sistemani birlik noma'lum kuchlar va tashqi yuk bilan yuklab, asosiy sistemadagi ichki kuchlar epyuralari quriladi: birlik kuchlarda – birlik kuch epyuralari, tashqi yukdan – yuk epyuralari.
5. Mor-Vereshchagin usuli bilan epyuralarni ko'paytirib kanonik tenglamalar sistemasiga kiruvchi ko'chishlar topiladi.
6. Kanonik tenglamalar sistemasini yechib $X_1, X_2, \dots, X_n$ noma'lumlar oldidagi koeffitsientlar aniqlanadi.
7. To'la yuklanishdagi asosiy sistema tuzilib, berilgan sistema uchun ichki kuchlar epyuralari quriladi.
8. Olingan natijalar tahlil qilinib, to'g'risi olinadi.

Kuch usuli bilan statik noaniq ramalarni hisoblash

Misol tariqasida egilishga ishlovchi statik noaniq ramani hisoblashni ko'raylik (10.5-rasm).



10.5-rasm. Egilishga ishlovchi statik noaniq rama.

Rama barcha sterjenlarini egilishdagi bikrligi o'zgarmas. Ramani yuqoridagi keltirilgan ketma-ketlikda hisoblaymiz.

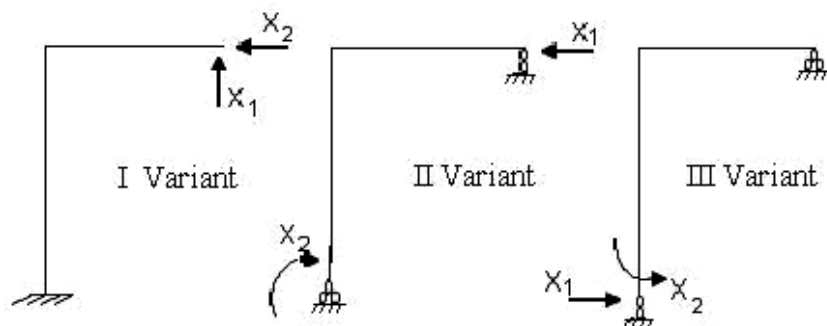
1. Statik noaniqlik darajasini (10.1) bog'lanishdan foydalanib topamiz.

$$n = 3k - 2u_k - u_h = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 0 - 1 = 2$$

Berilgan rama tashqi tomondan statik noaniqligi 2 ga teng, chunki bu holda tayanch reaksiyalari qo'shimcha noma'lum hisoblanadi.

Ikkala tayanch reaksiyalarini tashlab yuborib, ularni X_1 X_2 noma'lum kuchlar bilan almashtiramiz va asosiy sistemaning bir nechta variantlarini tuzamiz (10.6-rasm).

Hisoblash uchun 10.6-rasmda keltirilgan rama variantlarini ixtiyoriysini olish mumkin, ammo birinchi variant epyuralarini qurish, hisoblash hajmini kamaytirishi qulay.

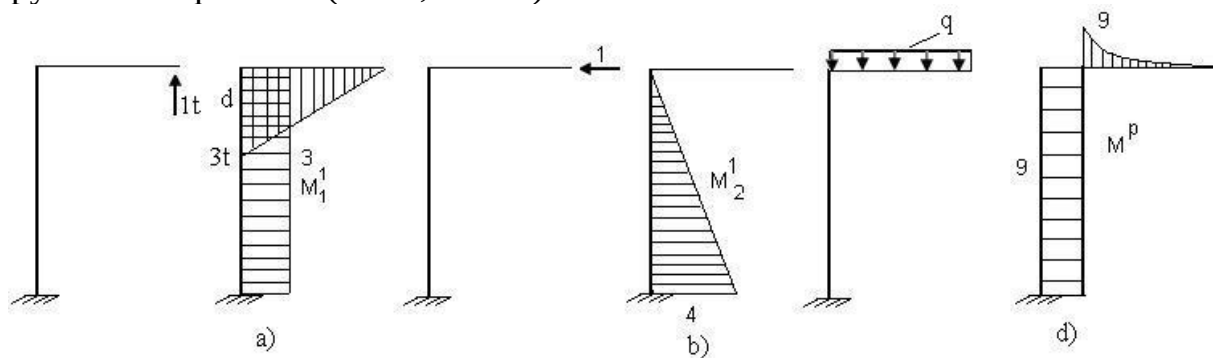


10.6-rasm. Asosiy sistema variantlari.

3. Kanonik tenglamalar sistemasini tuzamiz.

$$\left. \begin{aligned} X_1 \delta_{11} + X_2 \delta_{12} + \Delta_{1P} &= 0 \\ X_1 \delta_{21} + X_2 \delta_{22} + \Delta_{2P} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10.6)$$

4. Asosiy sistemani birlik noma'lum kuchlar bilan yuklab, birlik moment epyuralarini quramiz (10.7a,b-rasm).



10.7-rasm. Birlik kuch epyuralari:

a) vertikal birlik kuch epyurasi; b) gorizontaal birlik kuch epyurasi; d) tashqi kuch epyurasi.

(1) kuchdan $M_1=1 \cdot z_1$, $z_1=0$ da $M=0$

$z_1=3$ da $M=3$ tm

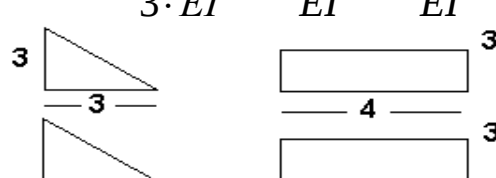
(2) kuchdan $M_1=0$, $M_2=1 \cdot z_2$ $z_2=0$ da $M=0$

$z_2=4$ m da $M=4$ tm

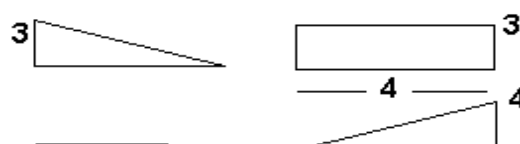
Asosiy sistemaga tashqi yukni qo'yib, yuk momenti epyurasini quramiz (10.7d-rasm)

5. Birlik kuch va yuk epyurasini ko'paytirib, kanonik tenglamalar sistemasiga kiruvchi ko'chishlarni aniqlaymiz.

δ_{11} ni aniqlash uchun birinchi kuch epyurasini o'zini-o'ziga 9.2-jadvaldan foydalanib ko'paytiramiz.

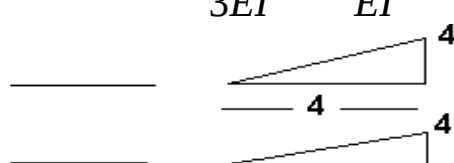
$$\delta_{11} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 3}{3 \cdot EI} + \frac{3 \cdot 4 \cdot 3}{EI} = \frac{45}{EI}$$


δ_{12} ni aniqlash uchun birinchi kuch epyurasini ikkinchi kuch epyurasiga ko'paytiramiz.

$$\delta_{12} = 0 + \frac{3 \cdot 4 \cdot 4}{2EI} = \frac{24}{EI}$$


δ_{21} ni aniqlash uchun ikkinchi kuch epyurasini birinchi kuch epyurasiga ko'paytiramiz, mos ravishda $\delta_{12} = \delta_{21} = 24/EI$

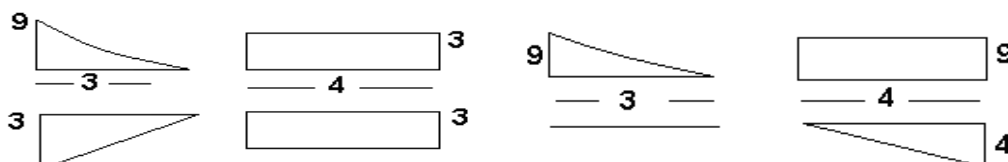
δ_{22} ni aniqlash uchun ikkinchi kuch epyurasini o'zini-o'ziga ko'paytiramiz.

$$\delta_{22} = 0 + \frac{4 \cdot 4 \cdot 4}{3EI} = \frac{21,6}{EI}$$


δ_{11}, δ_{22} va hokazolarni aniqlashda epyuralar o'zini-o'ziga ko'paytirilgani sababli, natija doimo musbat chiqadi.

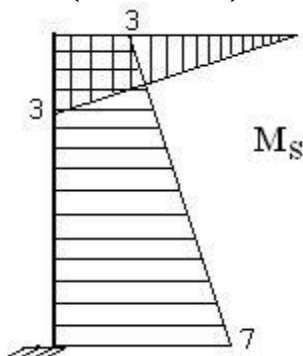
Δ_{1p}, Δ_{2p} ko'chishlarni topish uchun birlik kuch va tashqi yuk epyuralarini ko'paytiramiz.

$$\Delta_{1p} = -\frac{9 \cdot 3 \cdot 3}{4 \cdot EI} - \frac{9 \cdot 4 \cdot 3}{EI} = -\frac{128,2}{EI}; \quad \Delta_{2p} = 0 - \frac{9 \cdot 4 \cdot 4}{2EI} = -\frac{72}{EI}$$



Ko'rinib turibdiki, ko'chishlarni aniqlash katta hajmdagi hisoblashlarni amalga oshirish orqali kechmoqda, murakkab sistemalarni hisoblashlarda ular yanada ko'payib ketadi. Bu holat hisoblash keyingi bosqichiga o'tishdan oldin olingan natijalarni to'g'riligini tekshirib olish zaruriyatini tug'diradi.

Kanonik tenglamalar sistemasiga kiruvchi ko'chishlarni to'g'ri topilganini tekshirish uchun birlik kuchlar yig'indisi epyurasi (M_s) quriladi. Buni qurish uchun birlik kuchlar epyuralari qo'shiladi (10.8-rasm).



10.8-rasm. Birlik kuchlarning yig'indi epyurasi.

Birlik kuchlar epyuralari M_s epyura bilan ketma-ket ko'paytiriladi. M_s epyuraning birligi birlik epyura bilan ko'paytirish natijasi kanonik tenglamalar birinchi qatoriga kiruvchi birlik kuchlar ko'chishlari yig'indisiga, M_s ni ikkinchi birlik kuch epyurasi bilan ko'paytmasi – ikkinchi qatordagi birlik kuch ko'chishlari yig'indisiga teng bo'lishi kerak va hokazo.

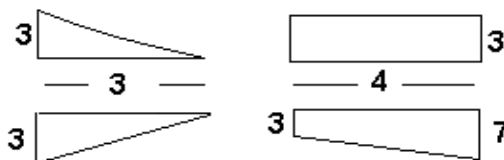
M_s epyurani yuk epyurasi bilan ko'paytirish natijasi kanonik tenglamalardagi yuk ko'chishlari yig'indisiga teng bo'lishi kerak. Bu tekshirish quyidagi qoidaga asoslangan – epyuralarni a, b, c, d indekslar bilan belgilaymiz;

Tenglama birinchi qatoriga kiruvchi ko'chishlar aa, ab, ac, ba, ad ko'rinishida aniqlanadi. Yakuniy epyura $a + b + c + d$ yig'indisiga teng bo'ladi, $aa + ab + ac + ad = a(a + b + c + d)$ esa yakuniy epyurani kanonik tenglama mos qatoridagi birlik epyurasi bilan ko'paytmasiga teng bo'ladi.

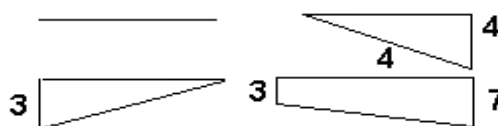
Xuddi shu usulda M_s ni yuk epyurasi bilan ko'paytirish natijasi kanonik tenglama ozod hadlari yig'indisiga teng bo'lishini aytish mumkin.

Bizning misolimizda

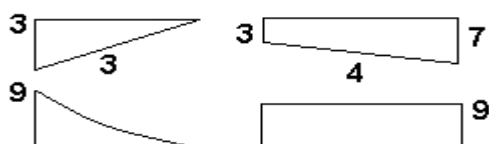
$$\delta_{1s} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 3}{3EI} + \frac{4 \cdot 3(3+7)}{2EI} = \frac{69}{EI}; \quad \delta_{11} = \delta_{12} = \frac{45}{EI} + \frac{24}{EI} = \frac{69}{EI}$$



$$\delta_{2s} = 0 + \frac{4 \cdot 4}{6EI} (2 \cdot 7 + 3) = \frac{45,4}{EI}; \quad \delta_{21} = \delta_{22} = \frac{24}{EI} + \frac{21,5}{EI} = \frac{45,6}{EI} \approx \frac{45,4}{EI}$$



$$\Delta_{sp} = -\frac{3 \cdot 3 \cdot 9}{4 \cdot EI} - \frac{9 \cdot 4(3+7)}{2EI} = -\frac{200,2}{EI}; \quad \Delta_{1p} + \Delta_{2p} = -\frac{128,2}{EI} - \frac{72}{EI} = -\frac{200,2}{EI}$$



Tekshirishlar shuni ko'rsatmoqdaki, kanonik tenglamaga kiruvchi ifodalar to'g'ri topilgan.

6. Ko'chishlar olingan qiymatlarini (10.6) kanonik tenglamalar sistemasiga qo'ysak

$$\frac{45X_1}{EI} + \frac{24X_2}{EI} - \frac{128,2}{EI} = 0$$

$$\frac{24X_1}{EI} + \frac{21,6X_2}{EI} - \frac{72}{EI} = 0$$

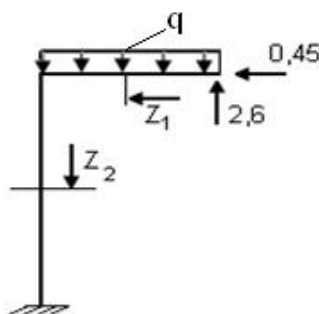
Sistemani $\frac{1}{EI}$ ga qisqartirib olib, yechamiz. Agar sistema 2–3 ta tenglamadan iborat bo'lsa o'rniga qo'yish usulidan foydalanish qulay. Agar sistema 3 tadan ortiq tenglamalardan iborat bo'lsa, u holda chiziqli tenglamalar sistemasini yechishning maxsus usullari qo'llaniladi.

Qurilish mexanikasida ko'pincha «Qurilish mexanikasi» fanida va turli matematik ma'lumotnomalarda bayon etilgan Gauss usulidan foydalaniladi.

$$X_1 = \frac{128,2}{45} - \frac{24X_2}{45} = 2,86 - 0,53X_2$$

$$6,86 - 12,8X_2 + 21,6X_2 - 72 = 0 \quad X_2 = 0,45, \quad X_1 = 2,86 - 0,515 \cdot 0,45 = 2,68 \approx 2,6$$

(10.9-rasm).



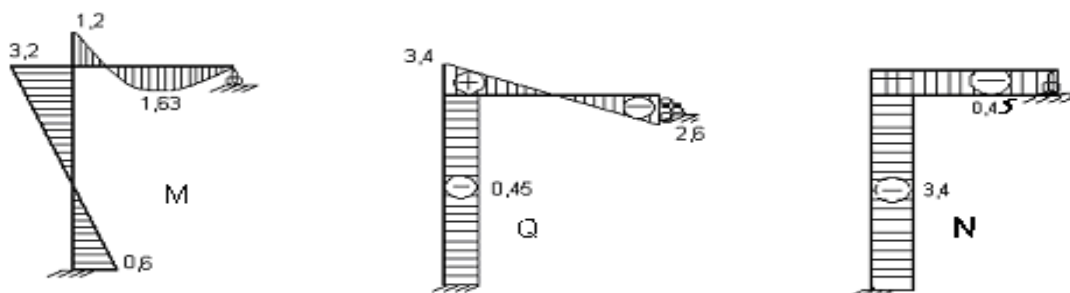
10.9-rasm. Reaksiya kuchlari aniqlangan.

Olingan natijalar to'g'riligini tekshirish uchun, ularni birinchi tenglamaga qo'yamiz.

$$45 \cdot 2,61 + 24 \cdot 0,45 - 128,2 = 127,8 - 128,2 = -0,4=0$$

X_1 va X_2 koeffitsientlari oldidagi (+) ishora tashlab yuborilgan reaksiyalar yo'nalishi olingan birlik kuch yo'nalishiga mos ekanligini bildiradi.

7. To'la yuklanishdagi asosiy sistemani tuzamiz va M, Q, N yakuniy epyuralar quramiz (10.10-rasm).



10.10-rasm. Rama uchun qurilgan ichki kuch epyuralari.

$$M_1 = 2,6z_1 - qz_1^2 / 2 \quad z_1 = 0 \text{ da } M = 0 \quad Q = -2,6t$$

$$Q_1 = -2,6 + qz_1$$

$$N_1 = -0,45 \quad z_1 = 3 \text{ da } M = -1,2, \quad Q = -3,4t$$

$M_{\max}$ ga $Q = 0$ da erishadi $-2,6 + 2z = 0 \quad z = 1,3$

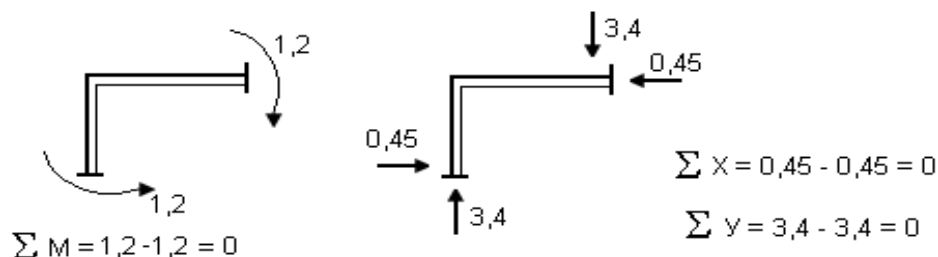
$$\dot{I}_{\max} = 2,6 \cdot 1,3 - \frac{2 \cdot 1,3^2}{2} = 1,69 \text{ tm}$$

$$M_2 = 2,6 \cdot 3 - \frac{2 \cdot 3^2}{2} + 0,45z_2 \quad z_2 = 0 \text{ da } M = -1,2$$

$$Q_1 = 0,45$$

$$N_2 = 2,6 - 2 \cdot 3 = -3,4 \quad z_2 = 4 \text{ da } M = 0,6$$

Rama tugunlari muvozanatini tekshiramiz (10.11-rasm).

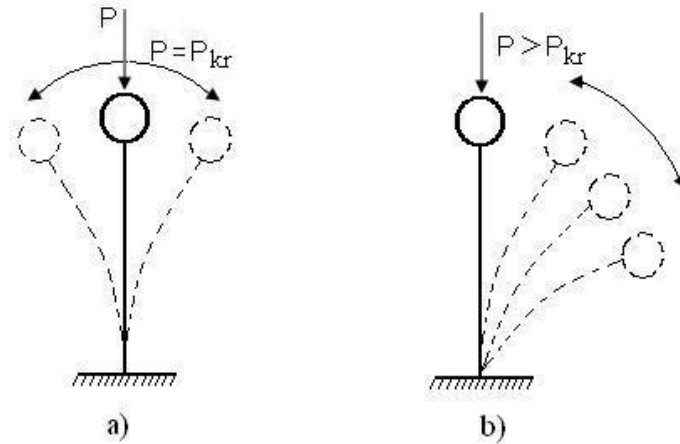


10.11-rasm. Tugunni statik tekshirish.

Rama tugunlarining muvozanatda bo'lishi to'la yuklanishdagi asosiy sistema ichki kuchlar epyuralarini to'g'ri qurilganini tasdiqlaydi, ammo M , Q , N epyuralari berilgan sistema epyuralari ekanligi kafolatini bermaydi. Buning uchun to'la yuklanishdagi asosiy sistema deformatsiyalari berilgan sistema deformatsiyalariga mosligini, ya'ni deformatsion tekshirish deb ataluvchi tekshirishni o'tkazish lozim. Shu sababli statik noaniq sistemalar nuqtalari ko'chishini aniqlash tartibini ko'ramiz.

13-mavzu: Siqilgan sterjenlarning ustivorligi. Kritik kuchni aniqlash. Eyler formulasidan foydalanish chegarasi.

Siqilgan sterjen ustuvorligi tushunchasini P yuk ta'siridagi qistirib mahkamlangan egiluvchi sterjen misolida ko'ramiz (12.1-rasm). Agar P kuch uncha katta bo'lmasa sterjen qisqa muddatli gorizontaal yuk ta'sirida egiladi va yuk olingach o'z o'qi atrofida tebranma harakat qilib, o'zining boshlang'ich holatiga qaytadi (12.1-rasm).



12.1-rasm. Erkin uchiga P kuch qo'yilgan qistirib mahkamlangan sterjen:
a) ustuvor holat; b) noustuvor holat.

Yuk kattaligi oshirilganda sterjen qisqa muddatli yukdan keyin o'zining boshlang'ich holatini saqlay olmay, egilgan holda qolishi yuz beradi. U ikkinchi marta muvozanat holatidan chiqarilganda yukni olingach, o'zining yangi egilgan o'qi atrofida tebranadi (12.1b-rasm).

Sistemaning sterjen va yukdan iborat birinchi holati ustuvor, ikkinchi holati ustuvor bo'lmagan holat deyiladi. Sterjen geometrik parametrlari o'zgarmas bo'lganda sistemaning ustuvor holatdan ustuvor bo'lmagan holatga o'tishi siquvchi kuch P kattaligiga bog'liq.

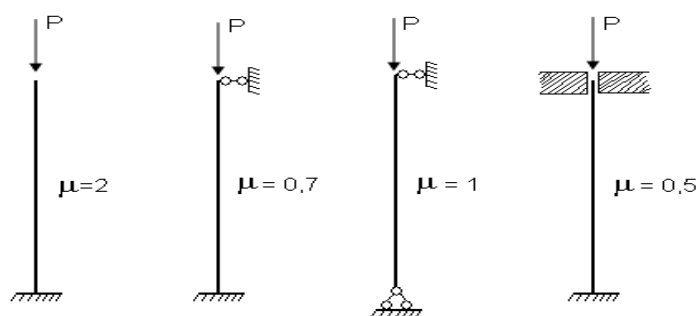
Sterjenni ustuvor holatdan ustuvor bo'lmagan holatga o'tkazuvchi siquvchi kuchga P_{kr} kritik kuch, bu sterjenda hosil bo'luvchi kuchlanishlarga σ_{kr} kritik kuchlanish deyiladi.

Materialning kritik kuchlanishlarga yetishi juda xavflidir, chunki sterjen ustuvorligi yo'qolganda deformatsiyalar keskin oshib ketadi va bu hol konstruksiya buzilishiga olib kelishi mumkin.

Birinchi marta kritik kuch kattaligini Leonard Eyler aniqlagani uchun, ba'zan uni Eyler kuchi ham deb ataladi. Eylerga asosan kritik kuch kattaligi quyidagi bog'lanishdan topiladi:

$$P_{kr} = \pi^2 EI_{\min} / (\mu \ell)^2 \quad (12.1)$$

Bu yerda $I_{\min}$ –ko'ndalang kesim bosh markaziy inersiya momentlaridan biri (kichigi), ℓ – sterjen uzunligi, μ – sterjen uchlarini mahkamlash usuliga bog'liq o'lchamsiz koeffitsient (12.2-rasm).



12.2-rasm. Sterjen uchlari mahkamlanishini uzunlikni keltirish koeffitsientiga bog'liqligi.

Bikr mahkamlash sof holda amalda juda kam uchrashini aytish lozim. Masalan, yetarli uzunlikdagi metall sterjen, asosiy konstruksiyaga payvandlash yoki birikma orqali tutashtirilgan sistema – bikr mahkamlanganga misol, ammo uni ustuvorlikka tekshirishda sharnirli mahkamlangan deb olinadi. Bu ferma sterjenlariga ham taalluqli bo'lib, hisoblashlarda $\mu=1$ ni qabul qiladi. $\mu/1$ ko'paytma keltirilgan uzunlik deyiladi.

Kritik kuchga mos keluvchi, miqdori P_{kp}/F ga teng bo'lgan kuchlanish kritik kuchlanish deyiladi.

Tajribalar tahlili shuni ko'rsatadiki, Eyler formulasi asosida hisoblangan natijalar sterjen geometrik parametrlari ma'lum diapazonida yaxshi mos tushadi. Bu parametrlarni umumiy baholash uchun sterjen egiluvchanligi λ o'lchamsiz kattaligi kiritiladi.

$$\lambda = \frac{\mu \cdot \ell}{i_{\min}} \quad (12.2)$$

bu yerda, $\mu \cdot \ell$ – sterjen keltirilgan uzunligi, $i_{\min}$ – bosh markaziy inersiya o'qlaridan biriga nisbatan ko'ndalang kesim inersiya radiusi.

Kesim inersiya radiusi quyidagi ifodadan topiladi:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F}}$$

λ egiluvchanlik o'lchamsiz kattalik bo'lib 0 dan 200 gacha bo'lgan qiymatlarni qabul qiladi. (12.1) ifodani λ ning $\lambda \approx 100-200$ qiymatlarida qo'llash mumkin. λ ning Eyler formulasini qo'llash mumkin bo'lgan quyi chegarasi materialga bog'liq. Xususan yog'och uchun 110 ga, cho'yan uchun 80 ga teng va hokazo.

14-mavzu: Yasinskiy formulasi. Uchtivorlikka hisoblashning asta-sekin yaqinlashish usuli.

Egiluvchanligi o'rtacha egiluvchanlikdan kichik bo'lgan sterjenlar uchun Peterburg temir yo'llar instituti professori F.S.Yasinskiy tomonidan σ_{kr} kritik kuchlanishni aniqlash imkonini beruvchi empirik bog'lanish taklif etildi:

$$\sigma_{kr} = a - b\lambda \quad (12.3)$$

bu yerda a, b – sterjen materialiga bog‘liq tajribada aniqlanuvchi, kuchlanish o‘lchov birligidagi kattaliklar, masalan po‘lat uchun $a=3100 \text{ kg/sm}^2$, $b=11,4 \text{ kg/sm}^2$ ga teng.

O‘rtacha egiluvchanlik deb λ qiymati 40÷100 gacha bo‘lgan egiluvchanlikka aytiladi. $\lambda < 40$ holda kritik kuchlanishni oquvchanlik chegarasiga teng deb olinadi.

Sterjen ustuvorligini yo‘qotishi mumkin bo‘lgan chegaraviy kuchlanish σ_{kr} kattaligi sterjen materiali va geometrik o‘lchamlariga bog‘liq ekanligini aniqladik. Ustuvorlikka hisoblashda, ruxsat etilgan kuchlanishdagi kabi ehtiyot koeffitsienti kiritiladi. Mustahkamlikka nisbatan ustuvorlikdagi ehtiyot koeffitsienti kattaroq qiymatga ega, chunki bir qator tasodifiy kattaliklar – sterjen egriligi, markaziy bo‘lmagan yuk, tasodifiy yondan ta’sirlar kabi kattaliklarga bog‘liq bo‘ladi. Ustuvorlikdagi ruxsat etilgan kuchlanish $[\sigma_y]$ mustahkamlikdagi ruxsat etilgan kuchlanish bilan quyidagicha bog‘langan

$$[\sigma_y] = \varphi \sigma_{kr} \quad (12.4)$$

bu yerda: φ – o‘lchovsiz koeffitsient, siqilgan sterjenlar uchun asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni pasaytirish koeffitsienti deb, ba‘zan bo‘ylama egilish koeffitsienti deb ataladi.

φ kattaligi sterjen materiali egiluvchanligiga bog‘liq va u maxsus jadvalda (12.1-jadval) keltiriladi.

φ koeffitsientining qiymatlari

12.1-jadval

Sterjen egiluvchanligi $\lambda = \frac{\mu \cdot \ell}{i_{\min}}$	Materiallar							
	Po‘lat OS, St2, St3, St4	Po‘lat St5	Po‘lat SPK	Cho‘yan	Yog‘och	Beton	Temir beton	Tosh devor
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99
20	0,96	0,95	0,95	0,91	0,97	0,96	0,98	0,96
30	0,94	0,92	0,91	0,81	0,93	0,90	0,97	0,91
40	0,92	0,89	0,87	0,69	0,87	0,83	0,94	0,85
50	0,89	0,86	0,83	0,57	0,80	0,76	0,88	0,78
60	0,86	0,82	0,79	0,44	0,71	0,69	0,82	0,71
70	0,81	0,76	0,72	0,34	0,60	0,63	0,72	0,65
80	0,75	0,70	0,65	0,26	0,48	0,56	0,64	0,58
90	0,69	0,62	0,55	0,20	0,38	0,51	0,57	0,52
100	0,60	0,51	0,43	0,16	0,31	0,45	0,52	0,47
110	0,52	0,43	0,35	–	0,25	–	–	0,42

120	0,45	0,36	0,30	–	0,22	–	–	0,38
130	0,40	0,33	0,26	–	0,18	–	–	0,34
140	0,36	0,29	0,23	–	0,16	–	–	0,31
150	0,32	0,26	0,21	–	0,14	–	–	0,28
160	0,29	0,24	0,19	–	0,12	–	–	–
170	0,26	0,21	0,17	–	0,11	–	–	–
180	0,23	0,19	0,15	–	0,10	–	–	–
190	0,21	0,17	0,14	–	0,09	–	–	–
200	0,19	0,16	0,13	–	0,08	–	–	–

Sterjen siqilishidagi mustahkamlik sharti ustuvorlikni yo‘qotish ehtimolini hisobga olgan holda ko‘rinishi

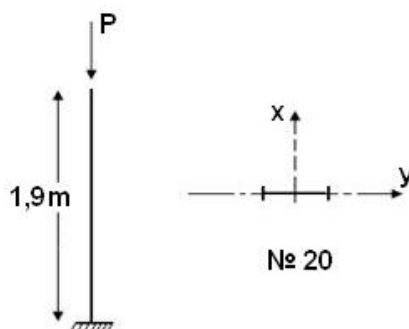
$$\sigma = \frac{P}{F} \leq [\sigma_y] \quad \text{yoki} \quad \sigma = \frac{P}{F} \leq \varphi[\sigma] \quad (12.5)$$

Siqilgan sterjenlarni ustuvorlikni yo‘qotish ehtimolini hisobga olgan holdagi hisobi masalasi 2 turga bo‘linadi.

- 1) Sterjen ko‘ndalang kesimi geometrik o‘lchamlari ma’lum bo‘lganda ruxsat etilgan siquvchi kuch kattaligini topish.
- 2) Siquvchi kuch kattaligini va kesim shakli berilganda uning geometrik o‘lchamlarini aniqlash.

Ikkala turdagi masalalarini yechish tartibiga doir misollar keltiramiz.

12.3-rasmda tasvirlangan qo‘stavr profildagi ustun uchun ruxsat etilgan kuch kattaligi aniqlansin.

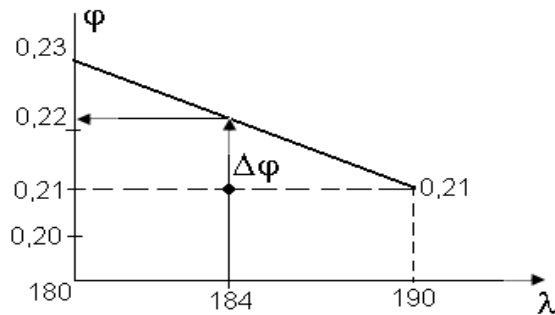


12.3-rasm. Qo‘stavr kesimli ustun hisobi.

Bu ko‘rinishdagi masalalarni yechish unga qiyin emas. (12.5) mustahkamlik shartidan ruxsat etilgan kuch kattaligi topiladi $P^{rux} = F \times \varphi \times [\sigma]$. Sortimentdan $F=26,8 \text{ sm}^2$, $i_y(i_{min})=2,07 \text{ sm}$ ni topamiz. Koeffitsient $\mu=2$ (12.2-rasm) sterjen egiluvchanligi:

$$\lambda = \mu \times \ell / i_{min} = 2 \cdot 190 / 2,07 = 184$$

12.1-jadvaldan chiziqli interpolyatsiyalash usuli bilan St 3 uchun $\lambda=184$ qiymatini topamiz. 12.1-jadvalda egiluvchanlik 180 va 190 bo‘lgandagi φ qiymatlari keltirilgan. Oraliq qiymatlarni topish uchun φ ni 180 dan 190 gacha oraliqda chiziqli o‘zgaradi deb qabul qilamiz. 12.4-rasmda chiziqli interpolyatsiya usulining grafik tasviri keltirilgan.



12.4-rasm. Chiziqli interpolatsiya usuli.

Uchburchaklar o'xshashligidan $\lambda=184$ ga mos keluvchi φ qiymatini analitik usulda topamiz.

$$\Delta\varphi = \left[\frac{0,23-0,21}{190-180} \right] (190 - 184) \text{ bu yerdan}$$

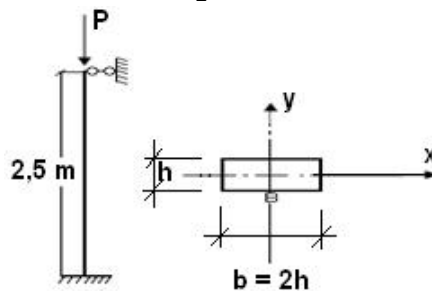
$$\Delta\varphi=0,012, \varphi=0,21+\Delta\varphi=0,222$$

Shunday qilib, $P^{rux} = 26,8 \text{ sm}^2 \times 0,222 \times 1600 \text{ kg/sm}^2 = 9500 \text{ kg} = 9,5 \text{ t}$

Ikkinchi turdagi masalalarni yechish qiyinroq, chunki (12.5) mustahkamlik shartiga ko'ndalang kesim o'lchamlariga bog'liq ikkita kattalik kiradi va ulardan biri φ analitik ko'rinishda emas, balki jadval ko'rinishida beriladi. Amalda (12.5) tenglama bir noma'lumli (ko'ndalang kesim o'lchami) bo'lsa ham uni ketma-ket yaqinlashish usuli bilan yechishga to'g'ri keladi. Bunday tipdagi masalalarni yechishga misollar keltiramiz.

40 t kuch yuklangan po'lat ustun ko'ndalang kesimi o'lchamlari topilsin (12.5-rasm).

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq \varphi[\sigma]$$



12.5-rasm. To'g'ri to'rtburchak kesimli po'lat ustun uchun ko'ndalang kesim o'lchamlarini aniqlash.

Mustahkamlik shartida P va $[\sigma]$ ma'lum hisoblanadi.

$F=hb=h \times 2h=2h^2$. 12.1-jadval asosida φ ni aniqlash uchun λ ni bilish kerak. $\lambda=\mu l/i_{min}$, $\mu=0,7$ (12.2-rasmga qarang) $i_{min}=i_x=0,29h$ (11.15-rasmga qarang) $\lambda=0,70 \times 250/0,29h=603/h$.

Shunday qilib, mustahkamlik sharti tenglamasida faqatgina h noma'lum xolos. h ni bilgan holda F , λ ni topish mumkin, λ asosida jadvaldan φ ni topamiz.

15-mavzu: Qiya egilish. Markaziy bo‘lmagan cho‘zilish yoki siqilish.

Murakkab qarshilik deganda sterjen ko‘ndalang kesimlarida tashqi yuk ta’sirida bir emas, bir nechta ichki kuchlar hosil bo‘lib, har birining sterjen mustahkamligi va deformatsiyalanishiga ta’sir darajasi bir xil bo‘lgan hol tushuniladi. Amalda kesimda bitta ichki kuch hosil bo‘lish hollari juda kam uchraydi. Masalan, egilishda ko‘ndalang kesimlarda bir paytning o‘zida ichki kuchlar – eguvchi moment M , ko‘ndalang kuch Q , bo‘ylama kuch N hosil bo‘ladi. Ammo bu kuchlar ta’siridan hosil bo‘luvchi kuchlanishlarning jism mustahkamligiga ta’siri bir-biriga nisbatan solishtirib bo‘lmaydigan darajada bo‘lganligi sababli, hisoblashlarda bir qism kuchlar ta’siri hisobga olinmaydi. Masalan egilishda faqat eguvchi momentni, prujina hisobida faqat burovchi momentni e’tiborga olinadi va hokazo, ya’ni masala oddiy qarshilikning turlaridan biriga keltiriladi.

Shunday qilib, oddiy va murakkab qarshilik o‘rtasidagi chegara yetarli darajada shartli ekan. Odatda murakkab qarshilik 3 ta asosiy ko‘rinishlarga ajratiladi – qiyshiq egilish, u ichki kuchlar eguvchi momenti ta’sir tekisligi ko‘ndalang kesim bosh markaziy inersiya o‘qlarining birortasiga ham mos kelmaganda ro‘y beradi, egilish va cho‘zilish (yoki siqilish)ning bir paytda sodir bo‘lishi, buning uchun sterjen ko‘ndalang kesimlarida ichki bo‘ylama N kuch va ichki kuchlar eguvchi momenti M_{eg} hosil bo‘lishi hamda ikkala omil tomonidan paydo bo‘luvchi normal kuchlanishlar miqdori darajasi bir xil, ko‘ndalang kesimlarda ichki kuchlarning eguvchi va burovchi momentlari bir vaqtda hosil bo‘lishidan paydo bo‘luvchi burilishli egilish. Egilish va cho‘zilish (siqilish)ning birgalikdagi ta’siriga qo‘yilish nuqtasi kesim og‘irlik markazida bo‘lmagan cho‘zuvchi yoki siquvchi bo‘ylama kuch ta’siridagi markaziy bo‘lmagan cho‘zilish (siqilish)ni misol qilish mumkin.

Sterjenlarni murakkab qarshilikka hisoblashda kuchlar ta’sirining mustaqillik qonunidan foydalaniladi, ya’ni sterjenga bir nechta kuch ta’sir etganda, har bir kuch ta’sirini alohida ko‘rib, natija esa qo‘shiladi. Masalan, qiyshiq egilishni sterjenni biror x va y bosh markaziy o‘qlariga nisbatan eguvchi ikkita moment ta’siridagi egilish deb qarash mumkin. Ko‘ndalang kesimning ixtiyoriy nuqtasidagi kuchlanish σ_x va σ_y yig‘indisiga teng.

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y = M_x Y / I_x + M_y X / I_y \quad (11.1)$$

Egilish va cho‘zilishning birgalikdagi ta’sirida kuchlanish egilish va cho‘zilish (siqilish) ta’siridan hosil bo‘lgan kuchlanishlar yig‘indisiga teng.

$$\sigma = \sigma^{ch} + \sigma^{eg} = N / F + M_x Y / I_y \quad (11.2 a)$$

yoki cho‘zilish (siqilish) va qiyshiq egilishda

$$\sigma = \sigma^{ch} + \sigma^{eg} = N / F + M_x Y / I_x + M_y X / I_y \quad (11.2 b)$$

Ushbu murakkab qarshilik turlarini birlashtirib turuvchi umumiy jihat shundan iboratki, cho‘zilish (siqilish) ta’siridan ham, egilish ta’siridan ham sterjen ko‘ndalang kesimlarida σ normal kuchlanishlar hosil bo‘lib, kesim har bir

nuqtasidagi yakuniy kuchlanishni tashkil etuvchilarning algebraik yig'indisi sifatida aniqlash mumkin.

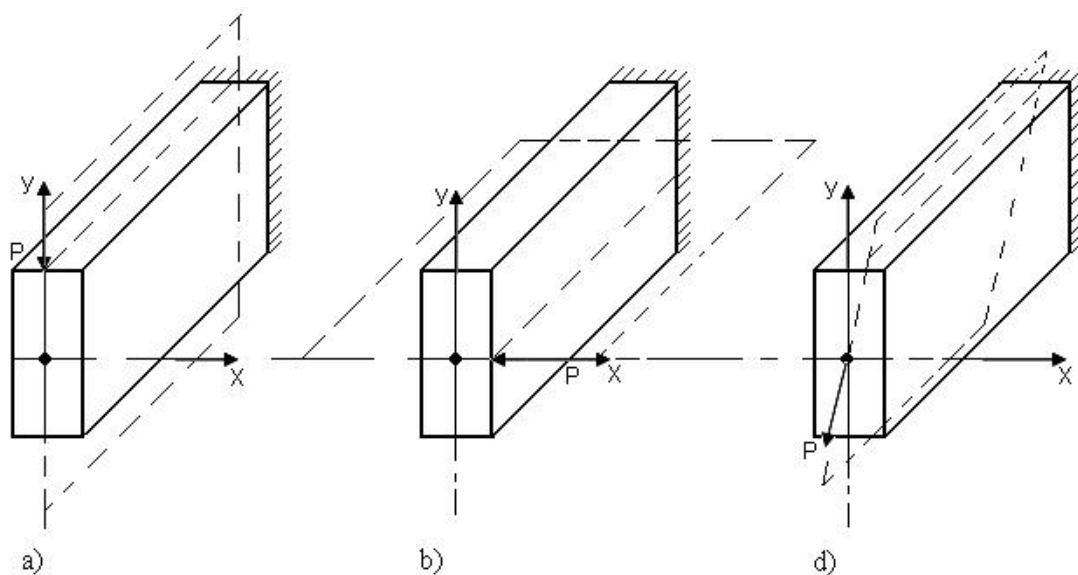
Egilish va buralish birgalikda ta'sir etganda har bir kuch omilini alohida ko'rish mumkin, lekin yakuniy natija ya'ni yakuniy kuchlanishni yig'indi sifatida topish mumkin emas, chunki egilishda sterjen ko'ndalang kesimlarida normal kuchlanishlar, buralishda esa urinma kuchlanishlar hosil bo'ladi.

Bu holda materialni baholash uchun mustahkamlik nazariyasidan foydalanishga to'g'ri keladi, shu sababli, qiyshiq egilish hamda cho'zilish va egilishni birgalikdagi ta'siri oddiy qarshilikning favqulodda holati deb, murakkab qarshilikka faqat egilishning buralish bilan bir vaqtdagi ta'siri kiritiladi.

Qiyshiq egilish

Ichki kuchlar eguvchi momenti ta'sir tekisligi sterjen ko'ndalang kesimi bosh inersiya o'qlarining birortasi bilan ham ustma-ust tushmasa qiyshiq egilish hosil bo'lishini yuqorida aytilgan edi. O'z navbatida moment ta'sir tekisligi tashqi yuklar holatiga bog'liq bo'ladi.

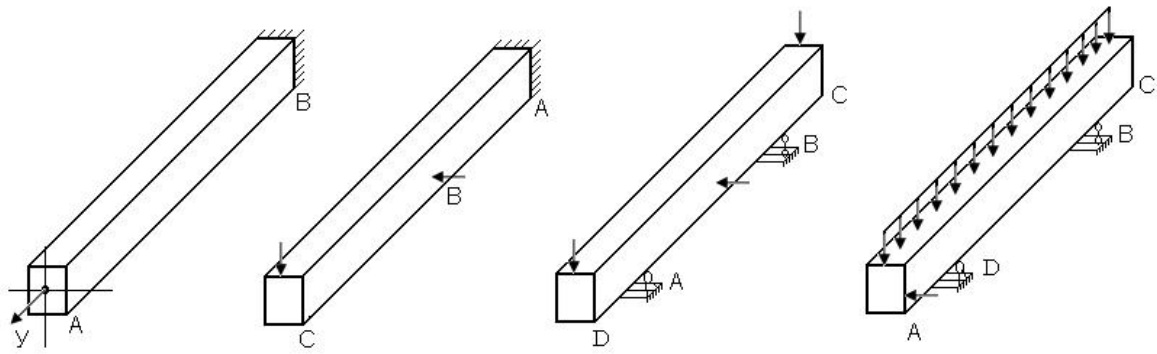
11.1.a-rasmda moment ta'sir tekisligi y bosh markaziy o'qi orqali, 11.1.b-rasmda esa x o'qi orqali o'tadi, mos ravishda bu hollarda to'g'ri ko'ndalang egilish yuzaga keladi, birinchi holda x o'qi, ikkinchi holda y o'qi neytral o'q bo'ladi. 11.1.d-rasmda keltirilgan holda eguvchi moment ta'sir tekisligi ko'ndalang kesim bosh markaziy inersiya o'qlarining hech biri bilan mos kelmagani uchun qiyshiq egilish yuzaga keladi.



11.1-rasm. Erkin uchiga P kuch qo'yilgan balkaning egilishi:

- a) egilish tekisligi « y » o'qi bo'yicha mos tushadi; b) egilish tekisligi « x » o'qi bo'yicha mos tushadi; d) egilish tekisligi bosh o'qlarga mos tushmaydi.

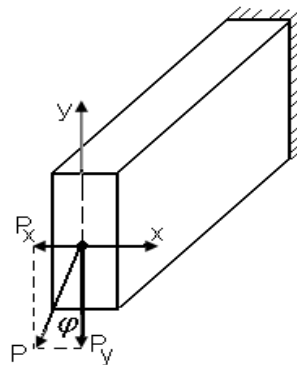
11.2-rasmda keltirilgan barcha hollarda qiyshiq egilish faqat AB qismda, boshqa qismlarda to'g'ri ko'ndalang egilish hosil bo'ladi.



11.2-rasm. Qiyshiq egilish deformatsiyasi.

Konstruksiyalarda aksariyat hollarda ko'ndalang qiyshiq egilish hosil bo'lgani uchun, faqat ko'ndalang kesimda ikkita simmetriya o'qiga ega bo'lgan sterjenlarni ko'ramiz.

Yuqorida aytib o'tilganidek, qiyshiq egilishni M_y va M_x momentlar hosil qiluvchi ikki ko'ndalang egilishga ajratish mumkin. Ular kattaligini aniqlash uchun har bir ko'ndalang kesimda M_y va M_x epyuralarini qurish kerak. Misol tariqasida 11.3-rasmda keltirilgan sterjenni ko'raylik.



11.3-rasm. Qiyshiq egilishdagi sterjen hisobi.

Tashqi yukni x, y o'qlariga proeksiyalaymiz

$$P_y = P \cos \varphi, \quad P_x = P \sin \varphi$$

P_y kuchi ta'siridan M_x moment (x o'qi neytral o'q), P_x kuchi ta'siridan M_y moment (y o'qi neytral o'q) hosil bo'ladi. M_x va M_y epyuralarini quramiz.

Kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipiga asosan ko'ndalang kesim nuqtalaridagi yakuniy kuchlanish M_x va M_y momentlar ta'siridan hosil bo'luvchi kuchlanishlar yig'indisiga teng, ya'ni

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y = M_x Y / I_x + M_y X / I_y \quad (11.1)$$

bu yerda I_x, I_y – ko'ndalang kesim inersiya momentlari, M_x, M_y – ichki kuchlar momentlari, ular sterjen har bir ko'ndalang kesim uchun epyuralardan topiladi.

Har bir ko'ndalang kesim uchun I_x, I_y, M_x, M_y – kattaliklar o'zgarmas bo'ladi. x va y koordinatalar normal kuchlanishlar taqsimoti tenglamasida birinchi darajada ishtirok etgani uchun sterjen ko'ndalang kesimi kuchlanish epyuralari to'g'ri chiziqli bo'ladi. To'g'ri egilishdagi kabi ko'ndalang kesimda cho'zilgan va

siqilgan sohalar vujudga keladi, ular normal kuchlanishlari nolga teng bo'lgan neytral o'q bilan ajratiladi, ya'ni

$$\sigma = M_x Y / I_x + M_y X / I_y = 0 \quad \text{yoki}$$

$$M_x Y / I_x + M_y X / I_y = 0 \quad (11.2)$$

Yuqoridagi 11.2 tenglama qiyshiq egilishda neytral o'q tenglamasi deyiladi. Umumiy holda u quyidagi ko'rinishga ega

$$K_1 X + K_2 Y = 0$$

Bu yerda, $\hat{E}_1 = \hat{I}_o / I_y$, $\hat{E}_2 = \hat{I}_o / I_x$, ya'ni kesim og'irlik markazida yotuvchi koordinatalar boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziq tenglamasini beradi.

Neytral chiziqni hosil qilish uchun x koordinataga ixtiyoriy qiymat berib, y ning mos keluvchi koordinatasini (11.2) tenglamadan topiladi. Qiyshiq egilishda neytral o'q ko'ndalang kesimning markaziy inersiya o'qlari bilan mos tushmaydi va yakuniy eguvchi moment tekisligiga perpendikulyar emas.

Sterjen ko'ndalang kesimida hosil bo'luvchi kuchlanishning absolyut miqdori ruxsat etilgandan ortib ketmasligi kerak ya'ni

$$\sigma = M_x Y / I_x + M_y X / I_y \leq [\sigma] \quad (11.3)$$

Ikkita simmetriya o'qiga ega bo'lgan ko'ndalang kesim uchun (11.3) ifodani quyidagicha yozish mumkin

$$\sigma = M_x / W_x + M_y / W_y \leq [\sigma] \quad (11.4)$$

bu yerda $I_x / Y_{\max}$ ni W_x , $I_y / X_{\max}$ ni W_y deb belgilab oldik.

(11.4) ifoda qiyshiq egilishdagi mustahkamlik sharti deyiladi. Eng katta siquvchi va cho'zuvchi kuchlanishlar neytral o'qdan eng uzoqdagi ko'ndalang kesim burchak nuqtalarida hosil bo'ladi. Absolyut miqdor jihatidan ikkita simmetriya o'qiga ega bo'lganda $\sigma_{\max}^{ch} = \sigma_{\max}^s$. Mo'rt materialdan tayyorlangan sterjenlar uchun mustahkamlik shartiga $[\sigma]_{ch}$ qo'yish kerak.

Qiyshiq egilishdagi mustahkamlik sharti, xuddi to'g'ri egilishdagi kabi sterjen ko'ndalang kesim kerakli o'lchamlarini topishga imkon beradi. Masalan, 11.4-rasmda keltirilgan ko'ndalang kesimi to'g'ri to'rtburchakli konsol ko'ndalang kesimi o'lchamlarini topish talab etilsin.

$$P_y = D \cos 60^\circ = 1,74 \text{ t}, \quad P_x = P \sin 30^\circ = 1 \text{ t}$$

mos ravishda

$$M_x^{max} = P_y \cdot 1 = 1,74 \text{ tm} = 174000 \text{ kg} \cdot \text{sm}$$

$$M_y^{max} = P_x \cdot 1 = 1 \text{ tm} = 100000 \text{ kg} \cdot \text{sm}$$

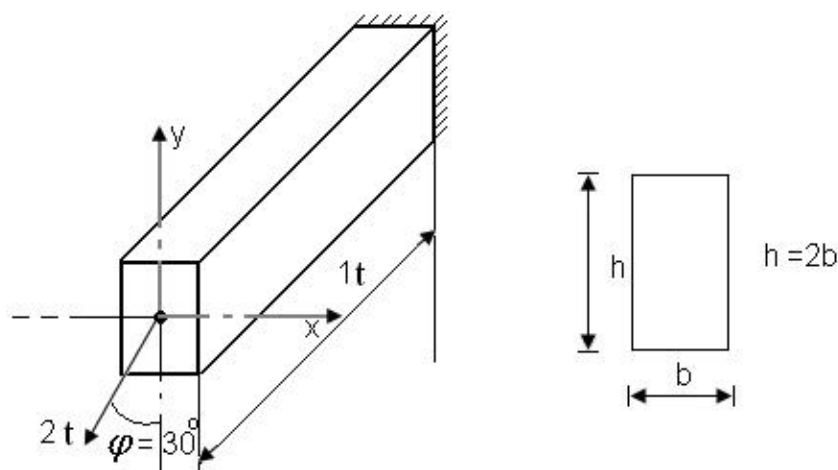
qarshilik momentlari

$$W_x = \frac{bh^2}{6} = \frac{4b^3}{6} = 0,666b^3 \quad W_y = \frac{b^2h}{6} = \frac{2b^2}{6} = 0,333b^3$$

Yog'och uchun ruxsat etilgan kuchlanish $[\sigma] = 100 \text{ kg/sm}^2$. Bu qiymatni (11.4) mustahkamlik shartiga qo'yib, uni b ga nisbatan yechamiz.

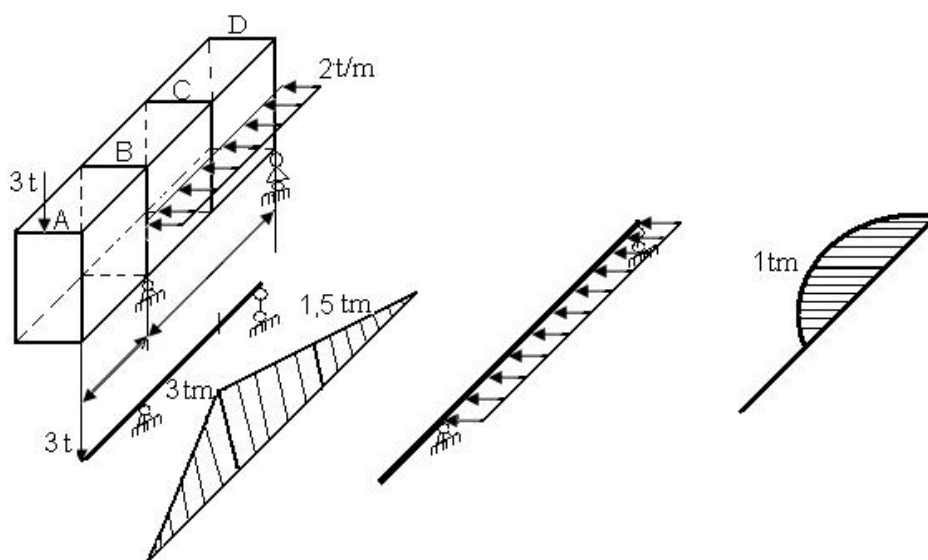
$$174000 \text{ kg} \cdot \text{sm} / 0,666b^3 (\text{sm}^3) = 100000 \text{ kg} \cdot \text{sm} / 0,333 b^3 (\text{sm}^3) \leq 100 \text{ kg} \cdot \text{sm}^2$$

$b^3=6600 \text{ sm}^3, \quad b=19 \text{ sm} \quad h=38 \text{ sm}$
 Olingan natijalarni yaxlitlasak $b=20 \text{ sm}, h=40 \text{ sm}$.



11.4-rasm. Qiyshiq egilishdagi konsol balkaga to'g'ri to'rtburchakli kesim tanlash.

Sterjenlarni qiyshiq egilishga hisoblashning o'ziga xos jihati shundan iboratki, M_x va M_y eguvchi momentlar epyurasi tashqi ko'rinishidan eng katta kuchlanish hosil bo'luvchi kesim, ya'ni xavfli kesim holatini aniqlab bo'lmaydi. Ko'rilayotgan masalada xavfli kesim holati ko'rinib turibdi, chunki M_x va M_y lar eng katta qiymatlarga qistirib mahkamlangan joyda erishadi, ammo boshqa hollar bo'lishi ham mumkin. Misol tariqasida 11.5-rasmda sxemasi keltirilgan ikkita tayanchda yotuvchi balkani ko'raylik.



11.5-rasm. Ikkita tayanchda yotuvchi balkaning hisobi.

Eguvchi momentlar epyurasidan balka AB qismida qiyshiq egilish, BD qismida esa ko'ndalang egilish vujudga kelishi ko'rinib turibdi. Epyuralar shaklidan M_x va M_y lar yetarli darajada katta qiymatga erishadigan C nuqta yoki M_y qiymati nolga teng, ammo M_x – max ga erishadigan B nuqta yotishi mumkin

bo'lgan ko'ndalang kesim holatini aniqlay olmaymiz. Bu holda xavfli kesim holatini aniqlash uchun balka barcha xarakterli nuqtalardagi kuchlanishlarni topish kerak.

Qarshilik momentlari $W_x=0,666b^3$, $W_y=0,333b^3$ (oldingi masalaga qarang).

B nuqtadan o'tuvchi kesimdagi eng katta kuchlanish

$$\sigma_B = \frac{300000kg \cdot sm}{0,666b^3} = \frac{450000}{b^3}$$

D nuqtadan o'tuvchi kesimdagi eng katta kuchlanish

$$\sigma_D = \frac{15000kg \cdot sm}{0,666b^3} + \frac{100000}{0,333b^3} = \frac{530000}{b^3}$$

D nuqtadagi kuchlanish katta bo'lgani uchun mustahkamlik shartiga $530000/b^3$ kattalikni qo'yish kerak.

Masalan, yog'och balka uchun

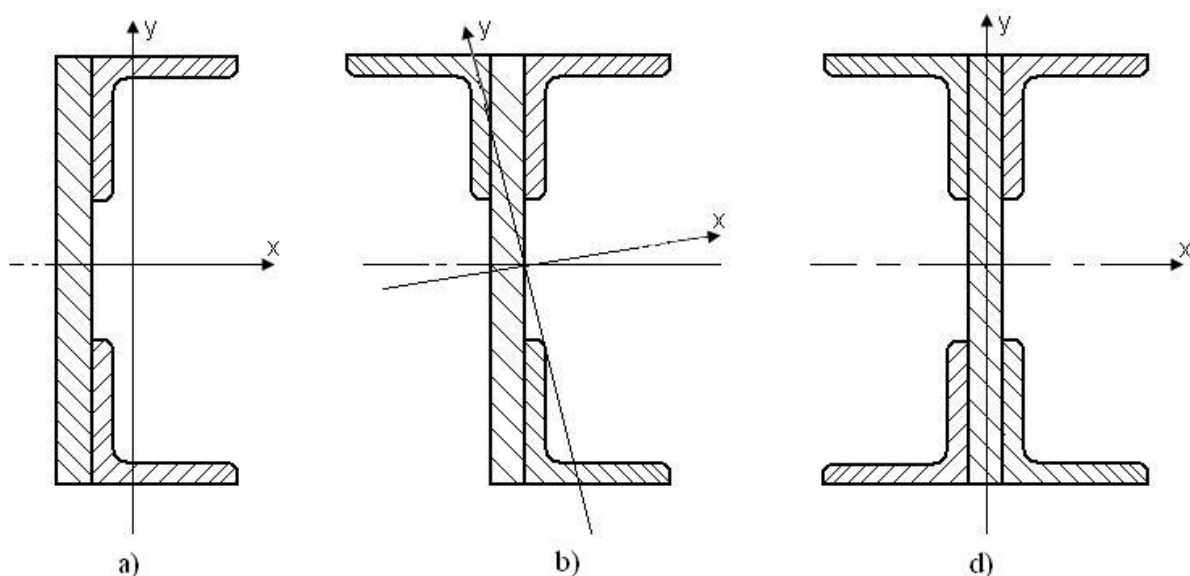
$$530000/b^3 = 100kg/sm^3, b^3 = 5300sm^3 \quad b = 17,3sm = 20sm, h = 40sm$$

Qiyshiq egilishda sterjen nuqtalari ko'chishlarini topish uchun kuchlar ta'sirining mustaqillik qonunidan foydalaniladi. Unga asosan ixtiyoriy (masalan boshlang'ich parametrlar usuli) bilan oldin nuqtaning vertikal kuchlar ta'siridan Δ^{ver} ko'chishini, keyin gorizontal kuchlar ta'siridan Δ^{gor} ko'chishini topiladi. Sterjen o'qi nuqtasining to'la ko'chishi quyidagi (11.5) ifodadan topiladi.

$$\Delta = \sqrt{(\Delta^{ver})^2 + (\Delta^{gor})^2} \quad (11.5)$$

Xarakterli tomoni shundaki, ko'pincha balkaning gorizontal solqiligi, vertikalga nisbatan ikki marta ortiq. Solqiliklardagi farq kesim balandligi va kengligi nisbati oshishi bilan ko'payadi, demak kuchlanish ham ortadi.

Kesimlardagi bosh inersiya momentlari bir-biridan sezilarli farq qiluvchi balkalar eng katta bikrlilik tekisligida yaxshi ishlaydi (baland to'g'ri to'rtburchaklar, qo'shtavrlar, shvellerlar), ammo qiyshiq egilishga ishlashga yaramaydi. Shu sababli, tashqi kuchlar tekisligini balka ko'ndalang kesimi bosh markaziy o'qi bilan aniq mos keltirish qiyin bo'lgan hollarda konstruktor bu kabi kesimlarni o'tkazmasdan qiyshiq egilishda balka yonlama deformatsiyalariga ega bo'lmasligi uchun qo'shimcha konstruktiv usullar (masalan gorizontal bog'lanishlar qo'yish) qo'llashi lozim. Mavjud konstruksiyani ehtiyotsizlik oqibatida kuchaytirish ayniqsa xavfli bo'lishi mumkin. N.M Belyaev list va ikki burchakli shvellersimon balkani (11.6a-rasm) yoz tekisligida joylashgan yuklamaga ishlayotganda qo'shimcha burchak payvandlash orqali kuchaytirilganini keltiradi (11.6b-rasm).



11.6-rasm. Bir necha elementdan tarkib topgan balka:

a) list va ikki teng yonli shvellersimon balka; b) list va uchta teng yonli burchaklikdan tashkil topgan balka; d) list va to'rtta teng yonli burchaklikdan iborat simmetrik balka.

Bu hol bosh o'qlarni tashqi kuchlar tekisligiga og'ishiga va balkaning yon tomonida ko'zda tutilmagan deformatsiyalanishiga olib kelgan (11.6b-rasm).

Shu sababli tasodifiy omillar natijasida hosil bo'lishi mumkin bo'lgan qiyshiq egilishlarda $I_x = I_y$ bo'lgan profillarni qo'llash kerak. Eslatib o'tamiz, $I_x = I_y$ bo'lgan holda, profil ikkitadan ortiq simmetriya o'qiga ega bo'ladi (doira, kvadrat va boshqalar) va unda qiyshiq egilish yuzaga kelmaydi.

16-mavzu: Mustahkamlik nazariyalari.

Real inshootlar va muhandislik konstruksiyalari asosan murakkab kuchlanish holatida ishlaydi. Shuning uchun ularning elementlarini buzilishi, bosh kuchlanishlar yoki bosh kuchlanishlar nisbatlarining turli xil qiymatlarida sodir bo'lishi mumkin.

Bunday holatlar uchun materiallarning mexanik xarakteristikalarini aniqlash va hisob ishlarini bajarish ko'p qiyinchiliklar tug'diradi. Shu bilan birga bunday ishlarni amalga oshirish murakkab laboratoriya sinovlarini tashkil etishni talab qiladi.

Murakkab kuchlanish holatidagi jism elementlarining mustahkamligini chiziqli kuchlanish holati uchun o'tkazilgan laboratoriya tadqiqotlari asosida aniqlash mustahkamlikni baholashda ko'p qulayliklar yaratadi. Shuning uchun materiallar qarshiligi fanida mustahkamlikni baholash uchun bir necha nazariyalardan foydalaniladi.

Odatda murakkab kuchlanish holatidagi jism elementlarining mustahkamlik shartini tuzish, hamda nazariy va tajriba natijalarini bir-biri bilan solishtirish uchun ekvivalent kuchlanish σ_{ekv} deb ataluvchi kattalik ishlatiladi.

Ekvivalent kuchlanish σ_{ekv} murakkab kuchlanish holatida, materialni xuddi cho‘zilish va siqilishdagidek xavfli holatga olib keladigan kuchlanishdir.

Umuman murakkab kuchlanish holatida mustahkamlik shartini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\sigma_{ekv} \leq [\sigma] \quad (5.31)$$

bu yerda, $[\sigma]$ –cho‘zilish yoki siqilishda ruxsat etilgan kuchlanish.

Hozirgi kunda materialda xavfli holat yuz berishini aniqlovchi qator gipoteza va mustahkamlik shartlari mavjud.

1. Ularning ichida eng soddasi Lame (1833-yil) va Renkin (1850-yil) lar tomonidan taklif etilgan «eng katta normal kuchlanishlar nazariyasi»dir, unga asosan bosh kuchlanishlardan birining qiymati ruxsat etilgan kuchlanishga yetganda materialda xavfli holat boshlanadi deb qaraladi. Shunga asosan tekis kuchlanish holatida (5.11) dan foydalanib mustahkamlik shartini quyidagicha yozish mumkin:

$$\sigma_{ekv} = \sigma_1 = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2} \leq [\sigma]. \quad (5.32)$$

Ushbu shartni $\sigma_1 > 0$ bo‘lgan holda qo‘llash, mo‘rt materiallarda o‘tkazilgan tajriba sinovlarida tasdiqlangan bo‘lib, u materiallarning alohida bo‘lakchalarni bir-biridan ajralib, buzilishi haqidagi farazni o‘zida aks ettiradi.

2. Kulon tomonidan taklif etilgan eng katta urinma kuchlanishlar nazariyasida yoki kesish nazariyasida, (uchinchi mustahkamlik nazariyasi) ekvivalent σ_{ekv} kuchlanish eng katta urinma kuchlanishga teng deb olinadi, ya’ni $\sigma_{ekv} = \tau_{max}$. Tekis kuchlanish holatida bu nazariyaga asosan mustahkamlik shartini quyidagicha yozish mumkin:

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2} \leq [\sigma] \quad (5.33)$$

Xususiyl holda, ya’ni $\sigma_y = 0$ bo‘lsa

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_z^2 + 4\tau_z^2} \leq [\sigma] \quad (5.34)$$

bo‘ladi.

Ushbu mustahkamlik nazariyasi jismlarni siljitish orqali buzish mumkinligi haqidagi farazni tasdiqlaydi va u cho‘zilish va siqilishga bir xil qarshilik ko‘rsatuvchi plastik jismlar uchun qo‘llaniladi.

3. Mizes va Genki tomonidan taklif etilgan mutahkamlik nazariyasida, shakl o‘zgarishining solishtirma potensial energiyasi chegaraviy qiymatga erishganda materialda xavfli holat yuz beradi degan farazga asoslangan. Bu nazariya to‘rtinchi yoki energetik nazariya deb ataladi. Bu nazariya bo‘yicha tekis kuchlanish holatida mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_z + \sigma_y}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2}\right)^2 + 3\tau_z^2} \leq [\sigma] \quad (5.35)$$

Xususiyl holda, ya’ni $\sigma_y = 0$ bo‘lsa,

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau_z^2} \leq [\sigma] \quad (5.36)$$

bo‘ladi.

Sof siljish holatida esa mustahkamlik sharti

$$\sigma_{ekv} = \tau\sqrt{3} \leq [\sigma] \quad (5.37)$$

bo'ladi.

Energetik mustahkamlik nazariyasi ko'proq plastik materiallar uchun qo'llaniladi va u uchinchi nazariyaga yaqin natijalarni beradi. Bu holni (5.33) va (5.35)larni bir-biri bilan solishtirib ham ko'rish mumkin.

4. O. Mor tomonidan taklif etilgan mustahkamlik nazariyasida, kuchlanish holatining xarakteristikalarini sifatida qaralayotgan yuzada hosil bo'ladigan eng katta urinma va normal kuchlanishlar olinadi.

O. Mor mustahkamlik nazariyasiga ko'ra tekis kuchlanish holatida mustahkamlik sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma_{ekv} = \frac{1-k}{2}(\sigma_z + \sigma_y) + \frac{1+k}{2}\sqrt{(\sigma_z + \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2} \leq [\sigma] \quad (5.38)$$

Xususiyl holda, ya'ni $\sigma_y = 0$ bo'lsa

$$\sigma_{ekv} = \frac{1-k}{2}\sigma + \frac{1+k}{2}\sqrt{\sigma^2 + 4\tau_z^2} \leq [\sigma] \quad (5.39)$$

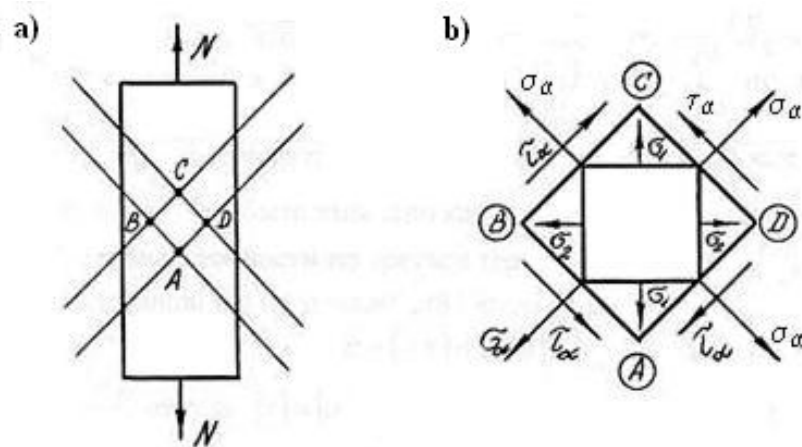
bo'ladi.

Plastik materiallar uchun $k = \frac{\sigma_{iq.ch}}{\sigma_{iq.n}}$. Bu yerda $\sigma_{iq.ch}$ – cho'zilishda oquvchanlik chegarasidagi kuchlanish, $\sigma_{iq.n}$ – siqilishda oquvchanlik chegarasidagi kuchlanish.

Mo'rt materiallar uchun $k = \frac{\sigma_{v.ch}}{\sigma_{v.s}}$ ga teng bo'lib, $\sigma_{v.ch}$ – cho'zilishdagi vaqtinchalik qarshilik, $\sigma_{v.s}$ – siqilishdagi vaqtinchalik qarshilik.

Agar $\sigma_{iq.ch} = \sigma_{iq.n}$ va $k = 1$ bo'lsa (5.38), (5.39) ifodalar (5.33) va (5.34) ifodalar bilan ustma – ust tushadi.

Misol: Cho'zilishga ishlayotgan sterjenning qiya kesimida yotuvchi nuqtaning kuchlanish holatini ko'ramiz (4.20-rasm). (4.16) ifodadan ma'lumki, eng katta normal va urinma kuchlanishlar σ_α , τ_α , sterjenning bo'ylama o'qiga 45° burchak ostida yotgan kesimda hosil bo'lar edi. «Qiya» tekislikka nisbatan 90° burchak ostida kesim o'tkazib (5.9a-rasm), hosil bo'lgan elementar yuzachani ajratib olamiz (5.9b-rasm). Bu yuzachani qirralariga σ_α , τ_α , kuchlanishlar ta'sir qiladi.



5.9-rasm. Cho‘zilish deformatsiyasida qiya kesimlardagi kuchlanishlar:
a) sterjendan qiya kesimlar orqali ajratib olingan element; b) elementar yuzachaga ta‘sir etayotgan kuchlanishlar.

Bu holda (5.9b-rasm) bosh yuzachalar, kesib olingan yuzachaga nisbatan 45° burchak ostida joylashgan bo‘lib, ulardan biri sterjen ko‘ndalang kesimida yotadi. Shuning uchun bosh kuchlanish

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2} = \frac{0,5\sigma + 0,5\sigma}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(0,5\sigma - 0,5\sigma)^2 + 4(0,5\sigma)^2} = \sigma$$

bo‘ladi.

Mustahkamlikning birinchi nazariyasiga asosan $\sigma_{ekv} = \sigma_1 = \sigma$ bo‘lib, bu holda mustahkamlik sharti $\sigma \leq [\sigma]$ ko‘rinishga ega bo‘ladi.

Uchinchi mustahkamlik nazariyasiga asosan

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2} = \sqrt{(0,5\sigma - 0,5\sigma)^2 + 4(0,5\sigma)^2} = \sigma$$

bo‘lib, mustahkamlik sharti bu holda ham oldingi natija bilan bir xil bo‘ladi.

To‘rtinchi mustahkamlik nazariyasiga asosan

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 3\tau_z^2} = \sqrt{(0,5\sigma - 0,5\sigma)^2 + 3(0,5\sigma)^2} = 0,87\sigma$$

bo‘lib, bu yerda birinchi va uchinchi mustahkamlik nazariyasida olingan natijadan kamroq natija kelib chiqadi.

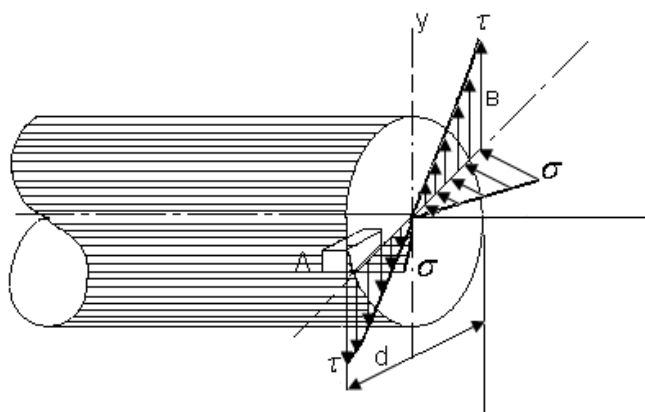
Sterjenning qiya kesimi uchun, turli xil mustahkamlik nazariyalari asosida aniqlangan ekvalent kuchlanishlarning qiymatidan ko‘rinib turibdiki, σ_{ekv} ning qiymati, sterjen ko‘ndalang kesimida hosil bo‘ladigan normal kuchlanishga teng yoki undan kichik bo‘lar ekan. Bu holat, sterjenning buzilishi ko‘ndalang kesim tekisligi bo‘ylab bo‘lishi mumkinligi haqidagi farazning to‘g‘riligini tasdiqlaydi.

Egilish va buralishdagi kuchlanishning birgalikdagi ta‘siri. Ichki kuchlar.

Kuchlanish holati

Tashqi yuk ta‘sirida sterjen ko‘ndalang kesimlarida bir vaqtning o‘zida ichki kuchlar eguvchi va burovchi momentlari hosil bo‘lgan holga egilish va buralishning birgalikda ta‘siri deyiladi. Yuqorida (11.1) da ko‘rsatib o‘tilganidek, murakkab qarshilikning bu turi o‘ziga xos jihati ko‘ndalang kesimda eguvchi moment ta‘siridan σ normal kuchlanishlar, burovchi moment ta‘siridan τ urinma

kuchlanishlar hosil bo'lishidir. 11.23-rasmda doirasimon sterjen ko'ndalang kesimlarida kuchlanishlar taqsimoti keltirilgan.



11.23-rasm. Doirasimon sterjen ko'ndalang kesimlarida kuchlanishlar taqsimoti.

Ko'ndalang kesimi doirasimon bo'lmagan sterjenlarda kuchlanishlar taqsimoti epyurasi murakkabroq ko'rinishga ega. Ikkala holda ham normal va urinma kuchlanishlar material A nuqtasi atrofida tekis kuchlanish holatini paydo qiladi. Bu holda material mustahkamligini baholash uchun mustahkamlik nazariyasidan foydalaniladi (5.7 bo'limga qarang).

(5.18) ifodaga asosan mustahkamlik sharti ko'rinishi

$$\sigma_{ekv} \leq [\sigma]$$

Bu yerda σ_{ekv} kattaligi III mustahkamlik nazariyasiga asosan (5.20) ifodadan topiladi $\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$, IV nazariyaga asosan (5.21) ifodadan

$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$. Bu mustahkamlik nazariyasidan hozirgi davrda plastik materiallardan yasalgan konstruksiyalarni loyihalash va hisoblashda keng qo'llanilmoqda. Mo'rt materiallardan iborat konstruksiyani egilish va buralishning birgalikda ta'sirini hisoblashda σ_{ekv} ni topishda Mor nazariyasidan (5.22) foydalanish kerak, ammo bu hollarda mo'rt materiallar kamdan-kam qo'llaniladi.

Egilish va buralishning birgalikda ta'siridan konstruksiyani hisoblash quyidagicha amalga oshiriladi:

Eguvchi va burovchi momentlar epyurasi quriladi;

Xavfli kesim holati aniqlanadi;

Murakkab qarshilikning boshqa turlari kabi ichki kuchlar epyurasi tashqi ko'rinishidan xavfli kesim holatini aniqlash qiyin, ba'zan bir nechta xarakterli kesimlarni tekshirishga to'g'ri keladi.

Xavfli kesimda ko'ndalang kesim xarakterli nuqtalarida normal va urinma kuchlanishlar miqdori aniqlanib ularni tanlangan mustahkamlik nazariyasi asosida σ_{ekv} topiladi.

Mustahkamlik shartiga σ_{ekv} qiymatini qo'yib material mustahkamligi yoki ko'ndalang kesim kerakli o'lchamlari aniqlanadi. Ko'ndalang kesimi doirasimon sterjen uchun hisoblashlarni soddalashtirish mumkin $\sigma_{max} = M_b / W$,

$\tau_{\max} = M_b / W_\rho$, doira uchun $W_\rho = 0,2d^3$, $W = 0,1d^3$, ya'ni $W_\rho = 2W$ bo'lgani uchun uchinchi nazariya ifodasiga asosan

$$\sigma_{ekv} = \frac{\sqrt{M_b^2 + M_e^2}}{W} \quad (11.17 a)$$

Doirasimon ko'ndalang kesimli val hisobi to'rtinchi nazariyaga asosan

$$\sigma_{ekv} = \frac{\sqrt{M_e^2 + 0,75M_b^2}}{W} \quad (11.17 b)$$

Natijada $\sqrt{M_e^2 + M_b^2}$ va $\sqrt{M_e^2 + 0,75M_b^2}$ ifodalarni M_P – hisob momenti orqali belgilab, ko'ndalang kesimi doirasimon sterjenlar uchun mustahkamlik shartini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin.

$$\sigma_{ekv} = \frac{M_P}{W} \leq [\sigma] \quad (11.18)$$

ya'ni ko'rinish jihatidan mustahkamlik sharti egilishdagi mutahkamlik shartiga o'xshaydi, unga $M_{\max}$ o'rniga uchinchi yoki to'rtinchi mustahkamlik shartidan aniqlanuvchi M_P hisob momenti kiradi. Misol tariqasida tasmali uzatmali ikkita shkivli po'lat val diametrini aniqlaylik. Val minutiga 600 marta aylanadi va 100 kvv quvvat uzatadi (11.24-rasm). Shkivlar diametri $D_1 = 0,6$ m, $D_2 = 0,3$ m ga teng. Tasmali uzatmada burovchi moment valga yetaklovchi va yetaklanuvchi vallar tasmasi tarangligi farqi orqali uzatiladi. Odatda yetaklovchi shkiv tasmasi zo'riqishi T_1 yetaklanuvchi shkiv zo'riqishiga nisbatan 2 marta katta bo'ladi. Buruvchi moment kattaligini topish uchun shkiv markazi O nuqtaga nisbatan momentlar yig'indisi tenglamasini tuzamiz

$$\sum M_o = M_b - 2t \cdot D/2 + t \cdot D/2 = 0; \quad M_b = t \cdot D/2$$

Ikkinchi tomondan (7.1 b) ifodadan $M_b = 973,6 \times 100,600 = 163$ kgm va 1va 2 shkivlar burovchi momentlari o'zaro teng. Bu hol M_b epyurasini qurish imkonini beradi (11.24-rasm).

Yuqoridagi natijalarni solishtirib yetaklovchi tasma zo'riqishini topish mumkin.

$$\frac{t \cdot D}{2} = M_b \rightarrow t = \frac{2M_b}{D}$$

1 – shkiv uchun

$$t_1 = 2 \times 163 / 0,6 = 540 \text{ kg}$$

2 – shkiv uchun

$$t_2 = 2 \times 163 / 0,3 = 1080 \text{ kg}$$

3t ga teng P_1 va P_2 tasmalardagi zo'riqish kuchlari valni gorizont va vertikal tekislikda egadi. Valni ikki tayanchda yotuvchi balka deb olib, bu kuchlarni yuklaymiz, vertikal va gorizont tekisliklardagi M_e epyurasini quramiz (11.24d,e-rasmlar).

Vertikal kuchlar ta'siridan

1 tayanchda $M_{\max}$ ga erishadi,

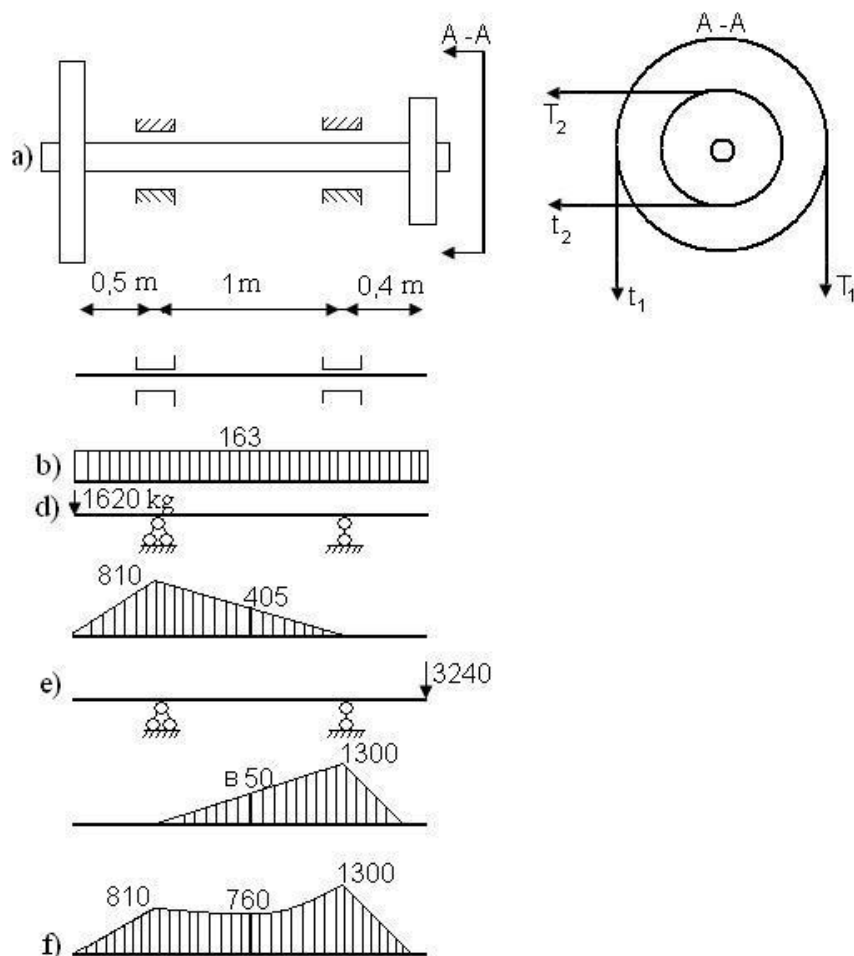
$$M_{\max}^{\text{ver}} = 1620 \times 0,5 = 810 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Gorizont kuchlar ta'siridan

1 tayanchda M_{max} ga erishadi,

$$M_{max}^{gor} = 3240 \times 0,4 = 1300 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

Vertikal va gorizontal yuk ta'siridan M_b epyurasini quyidagi ifodadan foydalanib qo'shamiz.



11.24-rasm. Tasma uzatmali ikki shkivli po'latdan tayyorlangan val:

a) berilgan val; b) burovchi moment epyurasi; d) chap shkivga qo'yilgan tortish kuchi va undan hosil bo'ladigan eguvchi moment; e) o'ng shkivga qo'yilgan tortish kuchi va undan hosil bo'ladigan eguvchi moment; f) yakuniy eguvchi moment epyurasi.

$$M_e^{sum} = \sqrt{(M_e^{ver})^2 + (M_e^{gor})^2}$$

Chap tayanchda

$$M_e^{sum} = 810 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

O'ng tayanchda

$$M_e^{sum} = 1300 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

Val o'rtasida

$$M_e^{sum} = \sqrt{(405)^2 + (650)^2} = 760 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

M_e^{sum} epyurasini quramiz. M_e^{sum} epyurasi uchastka o'rtasida egri chiziqli va 2-epyrada xavfli kesim bor.

Uchinchi mustahkamlik shartidan ekvivalent moment

$$M_{ekv} = \sqrt{(1300)^2 + (163)^2} = 1320 kg.m$$

To'rtinchi nazariyaga asosan

$$M_{ekv} = \sqrt{(1300)^2 + 0,75(163)^2} = 1310 kg.m,$$

ya'ni amalda ekvivalent momentlar deyarli o'zaro teng. Mustahkamlik shartidan

$$W = \frac{132000 kg / sm}{1600 kg / sm^2} = 83 sm^2; \quad d = \sqrt[3]{\frac{83}{0,1}} = 9,3 \approx 100 mm$$

$$P_1 = 3t_1 = 3 \times 450 = 1620 kg$$

$$P_2 = 3t_2 = 3 \times 1080 = 3240 kg$$

11.1-jadvalda turli mustahkamlik nazariyalari bo'yicha bir xil ruxsat etilgan kuchlanishli M_e va M_b ning turli nisbatlari uchun val diametrini aniqlash natijalari solishtirilgan. Eng katta deformatsiyalar nazariyasini qo'llashdagi diametr kattaligi (Sen-Venan formulasi) birga teng deb olingan.

Val diametrlarini solishtirish

11.1-jadval

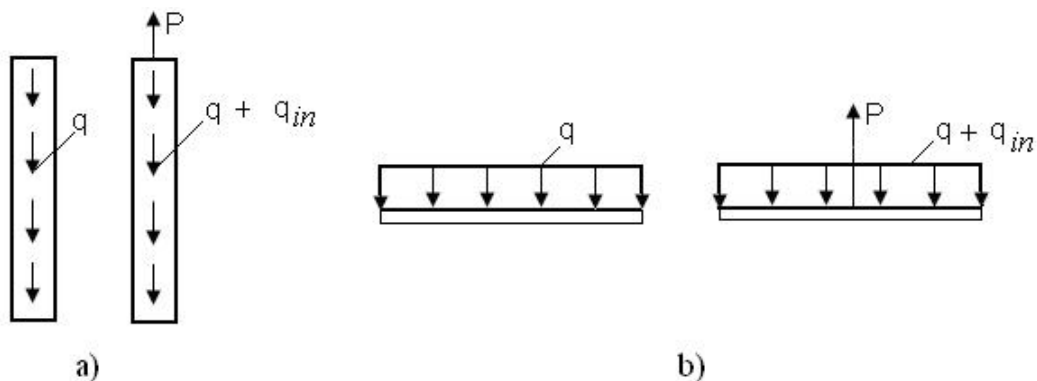
M_e ni M_b ga nisbati	Qo'llanilgan val diametri		
	II nazariya bo'yicha	III nazariya bo'yicha	IV nazariya bo'yicha
$M_e = 0$	1	1,15	1,10
$M_e = \frac{1}{2} M_b$	1	1,07	1,03
$M_e = M_b$	1	1,03	1,01

Barcha mustahkamlik nazariyalari bo'yicha hisoblash natijalari bir-biriga yaqin ekanligi ko'rinib turibdi.

17-mavzu. Dinamik kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash.

Yuklarni statik va dinamik turga bo'linishi yetarli darajada shartli tushuncha. Ixtiyoriy yuk qo'yilishi bilan inshoot alohida nuqtalari ko'chish oladi, ularning ko'chish tezliklari noldan eng katta qiymatgacha oshib borib, so'ngra yana nolgacha kamayadi, ya'ni jism qismlari tezlanish bilan harakat qiladi. Bu hol ko'chish yo'nalishiga qarama – qarshi tomonga yo'nalgan inersiya kuchlarini paydo bo'lishiga olib keladi. Nyuton qonuniga asosan inersiya kuchi miqdori jism massasini tezlanishiga ko'paytmasiga teng. Agar past tezlanishlardagi hosil bo'luvchi inersiya kuchlari yukga nisbatan kichik bo'lsa va ularni hisobga olmasa ham bo'lsa, bu yuk statik, agar inersiya kuchi miqdori yuk bilan solishtirarli bir xil bo'lsa dinamik yuk deyiladi. Nazariy mexanika fanidagi Dalamber prinsipiga asosan har bir alohida olingan vaqt uchun inersiya kuchini statikka aylantirish mumkin, ya'ni har bir vaqtda konstruksiya elementi tashqi va inersiya kuchlari sistemasi ta'sirida muvozanatda bo'ladi. Inersiya kuchlari xususiy og'irlik kuchi

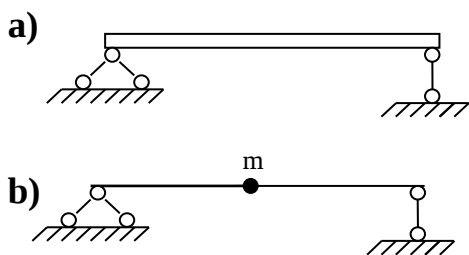
kabi hajmiy kuchlar toifasiga kiradi, ya'ni jism hajmi har bir nuqtasiga qo'yiladi. Shu sababli ular hisoblash sxemalarida yoyilgan yuk ko'rinishida tasvirlanadi. Masalan to'satdan qo'yilgan P kuch ta'siridagi sterjenning vertikal ko'chishi (13.1-rasm).



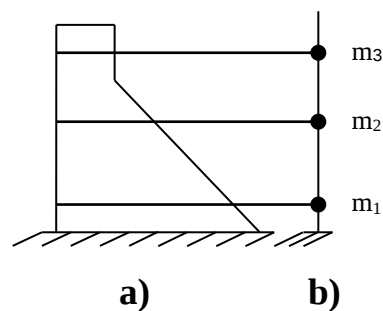
13.1-rasm. Inersiya kuchlarini yoyilgan yukka keltirish:

a) kuch vertikal qo'yilgan hol; b) kuch gorizontaal qo'yilgan hol.

Hisob sxemasida hisoblashlarni soddalashtirish uchun jism bo'yicha taqsimlangan massasini, bir yoki bir nechta nuqtalarga qo'yilgan massalarga almashtiriladi, inshootni esa og'irlikka ega bo'lmagan, inersiyasiz deb olib, massalar jamlangan nuqtalarga inersiya kuchlarini qo'yiladi (13.2-rasm va 13.3-rasm).



a – inshoot



b – hisob sxemasi

13.2-rasm. Taqsimlangan massani bir nuqtaga keltirish

13.3-rasm. Taqsimlangan massani bir nuqtaga keltirish

Umuman olganda inshoot yoki uning biror qismiga qo'yilgan yukni ikki yoki undan ortiq jismlar o'zaro ta'siri deb olish mumkin, inersiya kuchlari inshootga qo'yilgan yuk bilan qo'shib inshoot sterjenlari kesimlarida dinamik kuchlanishlarni hosil qiladi. Tashqi yuk ta'siridan hosil bo'luvchi statik kuchlanishni, yuk va inersiya kuchi birgalikda ta'siridan hosil bo'luvchi dinamik kuchlanishga nisbati K_D ni dinamik koeffitsient deyiladi.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_d &= K_D \sigma_{st} \\ \tau_d &= K_D \tau_{st} \end{aligned} \right\} \quad (13.1)$$

Natijada mustahkamlik sharti ko'rinishi

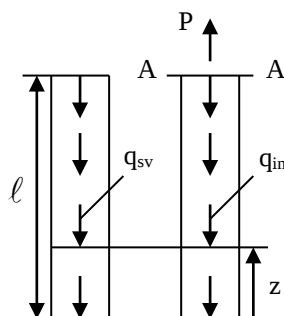
$$\begin{aligned}\sigma_d &= K_D \sigma_{st} \leq [\sigma] \\ \tau_d &= K_D \tau_{st} \leq [\tau]\end{aligned}\quad (13.2)$$

K_D kattaligi nazariy yoki tajriba yo'li bilan aniqlanadi. (13.1) ifodani ba'zi hollarda qo'llash mumkin emas, xususan statik yuk bo'lmagan hol, mos ravishda statik kuchlanish ham yuzaga kelmaydi, inshoot faqat inersiya kuchlari bilan yuklangan bo'ladi.

Quyida inshootga ta'sir etayotgan dinamik yuklar eng sodda hollari va taqriban hisoblash usullari keltiriladi. Murakkab hollar va hisoblashning aniq usullari "Inshootlar dinamikasi" fani doirasida o'rganiladi.

Tekis tezlanish bilan harakatlanayotgan va aylanayotgan inshootlar hisobi

P kuch ta'siri ostida yuqoriga ko'tarilayotgan sterjenni ko'raylik (13.4-rasm).



13.4-rasm. Yuqoriga o'zgaras tezlanish bilan harakatlanayotgan sterjen hisobi.

O'zgaras tashqi kuch ta'sirida sterjen a tezlanish bilan tezlanuvchan harakat qiladi. Bu holda sterjen kesimida miqdori $\rho Fza/g$ ga teng inersiya kuchi yuzaga keladi, bu yerda $\rho Fz - z$ kesim pastidagi sterjen bo'lagi og'irligi, a sterjen tezlanishi, F – sterjen ko'ndalang kesim yuzasi, g – erkin tushish tezlanishi, ρ – material zichligi.

Inersiya kuchlari ta'siridan hosil bo'lgan kuchlanish $\sigma_{in} = \rho za/g$, xususiy og'irlikdan hosil bo'lgan kuchlanish $\sigma_x = \rho z$, to'la kuchlanish $\sigma_d = \sigma_x + \sigma_{in} = \rho z + \rho za/g = \rho z(1 + a/g)$ bo'ladi. Kuchlanish o'zining eng katta qiymatiga $z = \ell$ dagi A – A kesimda erishadi.

$$\sigma_d = \rho \ell (1 + a/g) \quad (13.3)$$

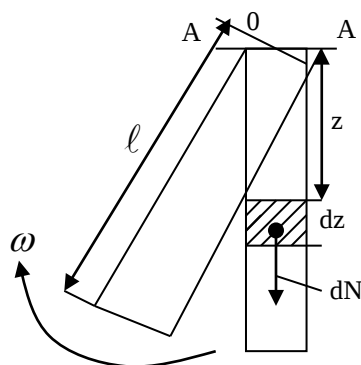
(13.3) ifodani (13.1) ko'rinishida yozamiz $\sigma_d = K_D \sigma_{st}$, bu yerda: $K_D = (1 + a/g)$.

Oldingi masaladagi sterjenda hosil bo'luvchi kuchlanishlarni sterjen A nuqtasi atrofida o'zgaras ω burchak tezlik bilan aylangan hol uchun ko'ramiz (13.5-rasm).

Masala shartiga ko'ra burchak tezlanish nolga teng bo'lgani uchun urinma tezlanish ham nolga teng bo'ladi. Ajratilgan element radial (markazga intilma)

tezlanishi $\omega^2 z$ ga, ajratilgan bo'lak inersiya kuchi esa $dN = \frac{\rho F dz}{g} \omega^2 z$ ga teng.

Butun sterjen uchun inersiya kuchi:
$$N_{in} = \int_0^{\ell} \frac{\rho F \omega^2 z}{g} dz = \rho \frac{F \omega^2 \ell^2}{2g}$$
 (13.4)



13.5-rasm. O'zgarmas burchak tezlanish bilan aylanayotgan sterjen hisobi.

A – A kesimda inersiya kuchlari eng katta kuchlanishiga erishadi va
$$\sigma_d = \frac{N_{in}}{F} = \rho \omega^2 \ell^2 / 2g$$
 ga teng bo'ladi.

Bu kuchlanishlar sterjen pastki holatida xususiy og'irligidan hosil bo'lgan kuchlanish bilan qo'shiladi, sterjen yuqori holatida ayriladi.

$$\sigma_d^{\max} = \rho \times \ell + \rho \omega^2 \ell^2 / 2g = \rho \ell (1 + \frac{\omega^2 \ell}{2g}) \quad (13.5)$$

(13.5) ifodani (13.1) ko'rinishida yozsak $K_D = (1 + \frac{\omega^2 \ell}{2g})$ hosil bo'ladi.

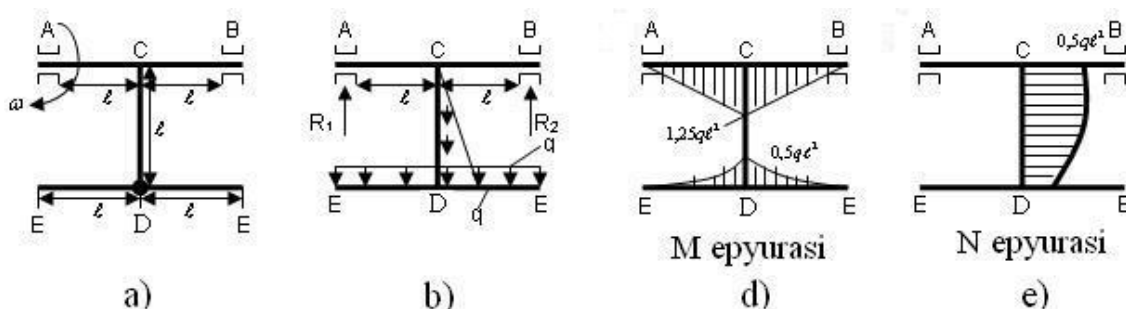
Sterjenda hosil bo'luvchi inersiya kuchlari uning kesimlarida faqat cho'zilish emas, balki egilish ham hosil qilishi mumkin.

Doirasimon ko'ndalang kesimli, o'zgarmas burchak tezlik bilan aylanuvchi, siniq sterjen kesimlarida hosil bo'luvchi kuchlanishlarni ko'raylik (13.6a-rasm).

ED – DE uchastkada inersiya kuchlari intensivligi $\rho F \omega^2 \ell / g$ ga teng bo'lgan tekis taqsimlangan yukdan iborat, CD bo'lakdagi ixtiyoriy kesimda inersiya kuchi kattaligi $\rho F \omega^2 z / g$ ga teng va C nuqtada 0 dan boshlab D nuqtada $q = \rho F \omega^2 \ell / g$ gacha o'zgaradi.

13.6b-rasmda sterjen inersiya kuchlari taqsimlanish epyurasi keltirilgan.

Mos ravishda AB bo'lakda egilish, DC bo'lakda esa cho'zilish paydo bo'ladi.



13.6-rasm. O'zgarmas burchak tezlanish bilan aylanuvchisiniq sterjen hisobi:
a) berilgan sistema; b) inersiya kuchlarining taqsimlanishi; d) eguvchi moment
epyrasi; e) bo'ylama kuch epyurasi.

Sistema va yukni simmetrikligidan foydalanib M_e va N epyuralarini quramiz (13.6d,e-rasmlar).

Podshipnikli A va B tayanchlarni sharnirli deb olamiz. Tayanch reaksiyalari:

$$R_1 = R_2 = q\ell + \frac{q\ell}{4} = 1,25q\ell. \quad ED - DE \text{ bo'lakda } M_{\max} \text{ ga erishadi}$$

$$M_{\max} = q\ell^2/2 = 0,5q\ell^2. \quad AB \text{ bo'lakda } C \text{ nuqtada } M_{\max} = 1,25q\ell^2 \text{ ga teng.}$$

CD bo'lakdagi cho'zuvchi kuch D nuqtada $2q\ell$ dan to C nuqttagacha $2q + q\ell/2 = 2,5q\ell$ gacha o'zgaradi. Hamda N bo'ylama kuch epyurasi egri chiziqli. Bo'ylama kuch ta'sirini hisobga olmasak eng katta $\sigma_{\max}$ kuchlanish AB bo'lak C nuqtasida hosil bo'ladi

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = 1,25q\ell^2/W_x \quad (13.7)$$

q kattalikni burchak tezlik orqali ifodalasak $q = \rho F \omega^2 \ell / g$

$$\sigma_{\max} = \frac{1,25\rho \frac{\pi d^2}{4} \cdot \omega^2 \ell^3}{\frac{\pi d^3}{32} g} = 10 \frac{\rho \omega^2 \ell^3}{dg} \quad (13.8)$$

Bu yerda W_x – qarshilik momenti, F, d – mos ravishda sterjen ko'ndalang kesim yuzasi va diametri ($F = \frac{\pi d^2}{4}$, $W_x = \frac{\pi d^3}{32}$)

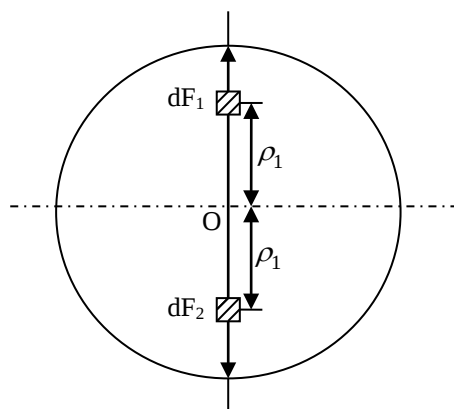
$\sigma_{\max} \leq [\sigma]$ mustahkamlik shartidan: ω va d – berilganlarga asosan mustahkamlikka tekshirish, ω – burchak tezlik berilganda val kerakli diametrini topish, d berilganda mumkin bo'lgan burchak tezlikni topish mumkin.

$$\frac{10\rho\omega^2\ell^3}{d} \leq [\sigma] \text{ bu yerda } \omega_{\text{rux}} = \sqrt{\frac{[\sigma]gd}{10\rho\ell^3}}$$

Sistema burilish burchagini o'zgarishini ko'rsatuvchi ω burchak tezlik, *radian/sek* da o'lchanadi, uni minutiga aylanishlar soni n bilan almashtirsak ($n = 30\omega/\pi$) valning ruxsat etilgan aylanishlar sonini topamiz

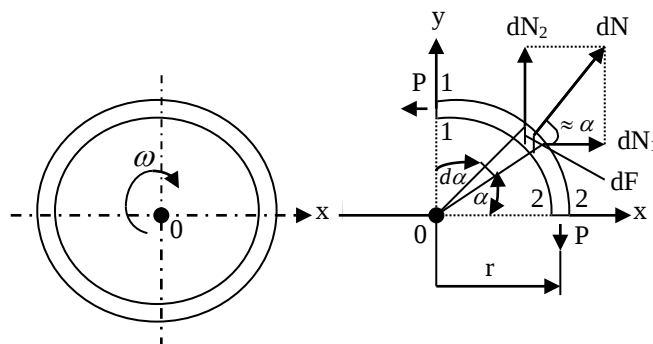
$$n_{rux} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{[\sigma] g d}{10 \rho \ell^3}} \quad (13.9)$$

AB uchastkada inersiya kuchlari eguvchi moment ham, bo'ylama cho'zuvchi kuchlar ham hosil qilmagani AB uchastka ko'ndalang kesimlarida kuchlanish hosil bo'lmaydi degani emas. Buning sababi val AB bo'lagi ixtiyoriy ko'ndalang kesimidagi har bir dF_1 elementar yuzachaga unga teng, u bilan bitta diametrda yotgan, O aylanish o'qidan shuncha ρ masofada yotgan dF_2 yuzacha mos keladi. Bu yuzachalarga ta'sir etuvchi elementar inersiya kuchlari o'zaro muvozanatlashadi. Ushbu yuzachalarga ta'sir etuvchi elementar inersiya kuchlari o'zaro muvozanatlashadi, shu sababli ko'ndalang kesimlarda momentlar, ko'ndalang va bo'ylama kuchlar hosil qilmaydi. Ammo, dF_1 , dF_2 yuzachalarga qo'yilgan elementar inersiya kuchlari (13.7-rasm) cho'zuvchi normal kuchlanish paydo qiladi. Valning kichik diametrda ular sezilmaydi, ammo katta diametrlarda katta qiymatga erishadi.



13.7-rasm. Elementar yuzachaga qo'yilgan inersiya kuchlari.

r radiusiga nisbatan qalinligi kichik bo'lgan, aylanma harakatdagi halqada hosil bo'ladigan kuchlanishlarni ko'raylik (13.8-rasm). Halqa ko'ndalang kesimi yuzi F ga, hajmiy zichligi ρ ga teng. Halqa kesimida dN inersiya kuchlaridan kuchlanish hosil bo'ladi. Bu kuchlar ta'sirida halqa elementar zarralari markazdan radial yo'nalishda ko'chib – qochadi.



13.8-rasm. Halqada hosil bo'ladigan kuchlanishlar.

Halqa zarrasi markazdan qochma tezlanishi

$$w_R = v^2/r$$

bu yerda v – halqa nuqtasining chiziqli yoki aylanma tezligi va $u \quad v = \omega \cdot r$ ga teng.

Halqa dF elementar bo‘lagi inersiya kuchi

$$dN = dmjw_R = \frac{F \cdot r \cdot d\alpha}{g} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{r} = \frac{F\rho v^2}{g} d\alpha$$

x o‘qiga dN kuchini proeksiyalasak

$$dN_1 = dN \cos \alpha = \frac{F\rho v^2 \cos \alpha d\alpha}{g}$$

Halqaning x va y o‘qlari bilan chegaralangan to‘rtidan bir qismini ajratib olamiz (13.8-rasm). Halqaning bu bo‘lagi inersiya kuchlari ta’sirida aylanish markazidan qochib, halqadan ajralishga intiladi. Ammo 1–1 va 2–2 kesimlarda hosil bo‘luvchi ichki kuchlar uni muvozanatda tutib turadi. Natijada

$$\sum X = -P + \int_0^{\pi/2} \frac{F\rho v^2}{g} \cos \alpha d\alpha = 0 \quad \text{yoki}$$

$$P = F\rho v^2/g$$

Halqa 2–2 kesimida σ cho‘zuvchi kuchlanishlar hosil bo‘ladi.

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

Bu yerdan aylanayotgan halqadagi kuchlanish quyidagiga teng bo‘ladi:

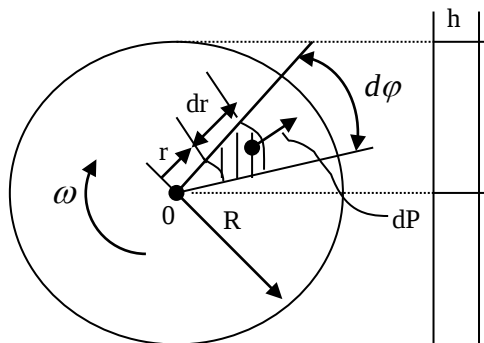
$$\sigma = \rho v^2/g \quad (13.6)$$

Ko‘rilgan holda halqa massasi perimetri bo‘ylab taqsimlangan. Tez aylanayotgan to‘liq diskni hisoblash masalasi qiyinroq, ammo yetarli darajada muhim. Ma’lumki, gaz trubinalari disklari, shlifalanuvchi doiralari, maxoviklar kabi detallar buzilishi natijasida jiddiy nosozliklar kelib chiqishi mumkin.

O‘zgarmas h qalinlikdagi, o‘zgarmas ω burchak tezlik bilan aylanuvchi diskni ko‘raylik (13.9-rasm). Disk hajmi bo‘ylab taqsimlangan inersiya kuchlari disk uchun yuk hisoblanadi (13.7-rasmdagi kabi).

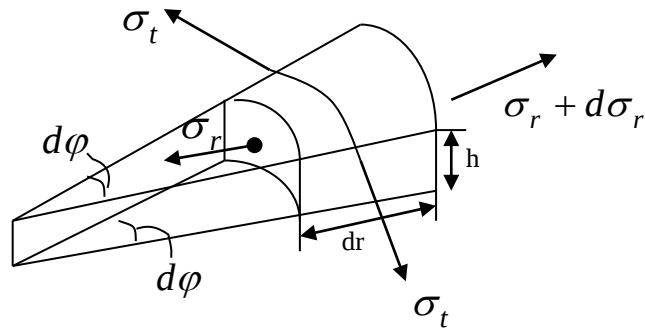
$h r d\varphi dr$ elementar hajm uchun elementar dP inersiya kuchi massa bilan normal tezlanish ko‘paytmasiga teng.

$$dP = \frac{\rho h}{g} \omega^2 r^2 d\varphi \cdot dr$$



13.9-rasm. O'zgaras qalinlikdagi va o'zgaras ω burchak tezlik bilan aylanuvchi disk hisobi.

Ajratilgan element yon qirralari bo'ylab radial (σ_r) va urinma (σ_t) kuchlanishlar hosil bo'ladi (13.10-rasm). Shunday qilib, disk materialida tekis kuchlanish holati yuzaga keladi.



13.10-rasm. Ajratilgan elementda hosil bo'ladigan kuchlanishlar.

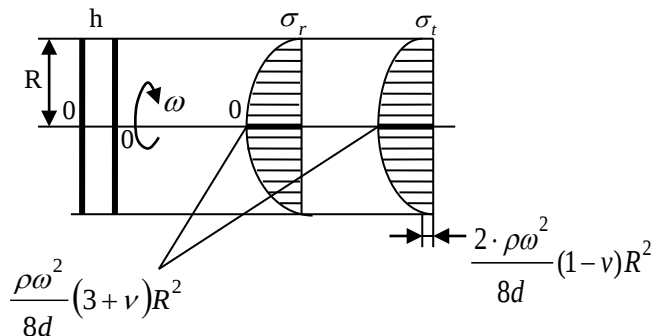
Ajratilgan element muvozanati orqali kuchlanish kattaligini topish mumkin.

$$\sigma_r = \frac{\rho \omega^2}{8g} (3 + \nu)(R^2 - r^2) \quad (13.7)$$

$$\sigma_t = \frac{\rho \omega^2}{8g} (3 + \nu) \left(R^2 - \frac{1 + 3\nu}{3 + \nu} \cdot r^2 \right) \quad (13.8)$$

bu yerda: ν – Puasson koeffitsienti.

σ_r , σ_t kuchlanishlari taqsimoti epyuralari 13.11-rasmga keltirilgan.



13.11-rasm. Diskda hosil bo'ladigan kuchlanishlar.

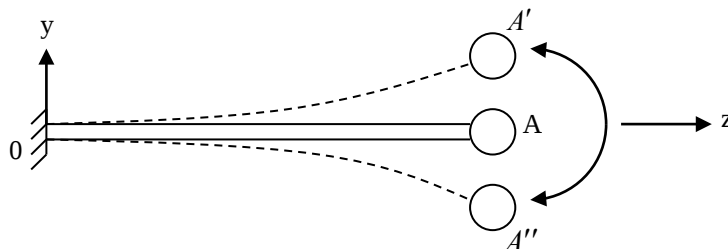
Eng katta kuchlanishlar markaziy sohalarda hosil bo'lgani uchun, tez aylanuvchi disklarni qalinligi o'zgaruvchan qilib, ya'ni markazda qalinroq, chekkalarida yupqaroq qilib yasaladi.

18-mavzu. Siklli o'zgaruvchan kuchlar ta'siridan mustahkamlikka hisoblash.

Fizika kursidan ma'lumki, mexanik tebranish deb moddiy nuqtaning biror traektoriya bo'ylab navbatma – navbat davriy qaytariluvchi harakatiga aytiladi.

Masalan, konsol balka A uchiga qo'yilgan P kuch ta'siridagi (13.20 rasm) harakat, P kuch olinishi bilan balka uchi $A'A''$ oralig'ida harakatlanadi.

A' va A'' holatlarda tezlik nolga teng, A holatda esa – eng katta qiymatga ega. Nuqta A dan A' ga (yoki A'' ga) ko'chganda harakat yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan elastik qarshilik kuchi (qaytaruvchi kuch) hosil bo'ladi. Moddiy nuqtaning faqat qaytaruvchi kuch ta'siridagi tebranma harakati xususiy tebranma harakat deyiladi.



13.20-rasm. Erkin uchiga P kuch ta'sir etayotgan konsol balka.

Agar qaytaruvchi kuchdan tashqari jismga muhit qarshilik kuchi ham ta'sir etsa, tebranish erkin tebranish deyiladi.

«Materiallar qarshiligi» fanida ko'rilayotgan masalalarda odatda muhit qarshiligi hisobga olinmaydi, shu sababli erkin va xususiy tebranma harakatlarga ajratilmaydi.

Tebranma harakatni sonli parametri sifatida tebranishlar davri T olinadi va u bitta to'la tebranish, A' dan A'' ga (13.20-rasm) o'tish vaqtiga teng. Tebranish davri T sekundda o'lchanadi. Tebranish davriga teskari kattalik $\nu = \frac{1}{T}$ (sek^{-1}) ga tebranish chastotasi deyiladi.

Tebranish chastotasi birligi 1 sekunddagi to'la aylanishlar soni olinadi va u gers (Gs) da o'lchanadi. Nuqtaning 2π sekunddagi aylanishlar soni ω bilan belgilanib, xususiy tebranish aylanma chastotasi deyiladi.

ω kattaligi konstruktsiya materiali va o'lchamlariga bog'liq bo'lib quyidagi ifodada aniqlanadi:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\Delta_{st}}} \quad (13.14)$$

Bu yerda, Δ_{st} : $P=mg$ statik kuch qo'yilgan nuqtadagi solqilik (ko'chish).

Tebranish davri va chastotasidan tashqari ushbu jarayonni tebranishlar amplitudasi “ Y ” ham aniqlaydi va u nuqtaning muvozanat holatidan eng katta chetga chiqish kattaligiga teng. Amplitudaning ikkilangani tebranish qulochi deyiladi.

Amalda juda ko'p tarqalgan hollardan biri P yuk sistema tebranishi sababchisi bo'lishidir, masalan P yuk (13.20-rasm) aylanayotgan sozlanmagan dvigatel og'irligi bo'lsin. Bu tebranishlar davriy qaytariluvchi “ S ” “uyg'otuvchi

kuch” ta’siridagi majburiy tebranma harakat deyiladi. Majburiy tebranishlar aylanish chastotasi (ϖ_0) dvigatelning minutiga aylanishlar soni “n” ga bog‘liq va quyidagicha aniqlanadi

$$\varpi_0 = \frac{n}{60} \cdot 2\pi = \frac{\pi n}{30} \quad (13.15)$$

Sozlanmagan (debalans) massa aylanishida hosil bo‘luvchi uyg‘otuvchi kuch quyidagi ifodadan topiladi:

$$S = m\varpi_0 r \quad (13.16)$$

Bu yerda, m – debalans massasi, $m = \frac{P}{g}$, P – debalans og‘irligi, g – erkin tushish tezlanishi, r – debalans aylanish radiusi.

Amaliyotda rezonans hodisasi keng tarqalgan va u xususiy tebranish chastotasi (ω) va majburiy tebranish chastotasi (ω_0) bir-biriga yaqinlashganda ya’ni tebranish amplitudasi keskin oshib ketishi bilan o‘zini namoyon etadi. Rezonans hodisasi hosil bo‘lishi tebranishlar o‘shish koeffitsienti “ β ” orqali aniqlanadi.

$$\beta = \left| \frac{1}{1 - \frac{\varpi_0^2}{\varpi^2}} \right| \quad (13.17)$$

Tebranishlar o‘shish koeffitsienti musbat yoki manfiy bo‘lishi mumkin. Hisoblashlarda uning absolyut qiymati ishlatiladi.

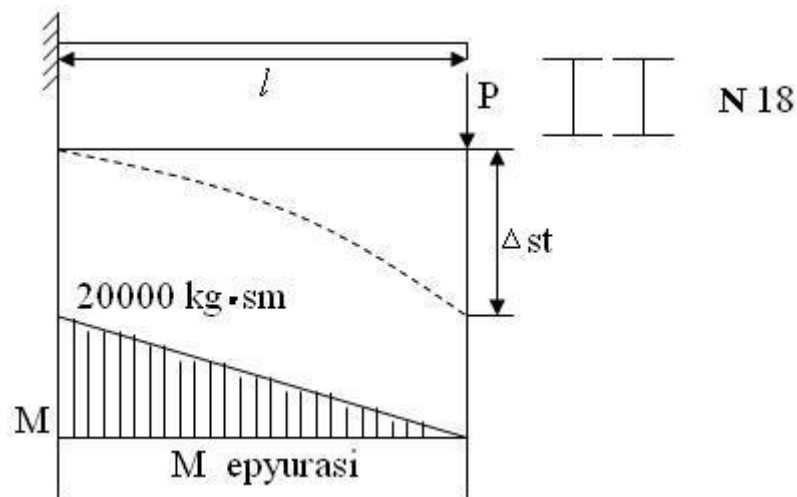
Agar $\varpi_0 = \varpi$ bo‘lsa tebranishlar o‘shish koeffitsienti cheksiz qiymatga erishadi. Amalda bunday hol sodir bo‘lmaydi, chunki doimo qarshilik kuchlari mavjud ekanligi, xususiy tebranishlar emas, balki erkin tebranishlar mavjud bo‘ladi. Bu holat amplitudani cheksiz o‘shishini cheklaydi, ammo u juda katta qiymatlarga erishishi mumkin. I.M.Belyaev “Sapellin” dvigatellari tirsakli valining Atlantika okeani uzra uchib o‘tishda val buralish burchagi rezonans natijasida 6 marta oshib ketib singanligini keltiradi. Rezonans hosil bo‘lmasligi uchun ω_0 / ω chastotalar nisbati 0,7 dan kichik yoki 1,5 dan katta bo‘lgani ma’qul.

Tebranma harakatdagi kuchlanishlar, dinamik yuklama boshqa hollari kabi statik kuchlanish (σ_{st}) ni dinamik koeffitsientiga (K_D) ko‘paytirib topiladi. Majburiy tebranma harakat holida K_D kattaligi quyidagicha aniqlanadi:

$$K_D = (1 + \frac{S}{P} \beta) \quad (13.18)$$

Amaldagi masalalar ikki guruhga ajratiladi – konstruksiya ko‘ndalang kesimi o‘lchamlari ma’lum bo‘lganda dinamik kuchlanishlarni topish orqali rezonans paydo bo‘lishini tekshirish va ko‘ndalang kesim kerakli o‘lchamlarini aniqlash.

Masalan, qo'shtavr profilli ikki balkadan iborat konsolga $P = 200 \text{ kg}$ og'irlikdagi dvigatel o'rnatilgan bo'lsa, konsoldagi kuchlanishlarni aniqlab uni rezonansga tekshiring. Dvigatel minutiga 300 marta aylanadi. Sozlanmagan massa og'irligi $m=50 \text{ kg}$, debalans radiusi $r=0,1\text{sm}$, balka uzunligi $\ell = 1\text{m}$ ga teng (13.21-rasm). Qo'shtavrning geometrik xarakteristikalarini 18: $I_x = 1290 \text{ sm}^4$; $W_x = 143 \text{ sm}^3$, $\ell = 1 \text{ m}$.



13.21-rasm. Ikki qo'shtavrli konsol balkaning erkin uchiga qo'yilgan kuch ta'siridagi kuchlanishlarni aniqlash va uni rezonansga tekshirish.

Xususiy tebranishlar chastotasini aniqlaymiz. Statik egilish

$$\Delta_{st} = P\ell^3 / 3EI_x = 200\text{kg} (100\text{sm})^3 / 3 \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ kg} / \text{sm}^4 \cdot 1290 \cdot 2 = 0,013\text{sm}.$$

$$\omega = \sqrt{981/0,013} = 272 \text{ rad / sek.}$$

Majburiy tebranishlar chastotasi

$$\omega_i = \frac{\pi \ddot{n}}{30} = 3,14 \cdot 300 / 30 = 314 \text{ sek}^{-1}$$

$\frac{\omega_o}{\omega} = \frac{314}{272} = 1,16$, ya'ni rezonans hodisasi ro'y berish ehtimoli mavjud. Majburiy tebranish chastotasini o'zgartirib bo'lmaydi, shu sababli qo'shtavr profilini o'zgartiramiz.

№14 ni olamiz. $I_x = 572 \text{ sm}^4$; $W_x = 82 \text{ sm}^3$

U holda $\Delta_{st} = 200(100)^3 / 3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 572 = 0,029 \text{ sm}$

$$\omega = \sqrt{981/0,029} = 184 \text{ rad/sek}$$

Natijada $\frac{\omega_i}{\omega} = \frac{314}{184} = 1,7$ Bu natija kritik qiymat chegarasidan ancha uzoq.

Tebranishlar o'sish koeffitsienti.

$$\beta = \left| \frac{1}{1 - \frac{(314)^2}{(184)^2}} \right| = 0,52$$

Uyg'otuvchi kuch kattaligini (13.16) ifodadan topamiz:

$$S = m\omega_o r = 50 \cdot 314 \cdot 0,1 = 1570 \text{ kg}$$

(13.18) dan dinamik koeffitsientini topamiz:

$$\hat{E}_D = 1 + \frac{1570}{200} \cdot 0,52 = 5,08$$

$$\text{Statik kuchlanish } \sigma_{st} = 20000 \text{ kg sm} / 2 \cdot 82 \text{ sm}_2^3 = 122 \text{ kg} / \text{sm}^2$$

$$\text{Dinamik kuchlanishi } \sigma_D = \hat{E}_D \cdot \sigma_{st} = 620 \text{ kg} / \text{sm}^2$$

Dinamik kuchlanishining kichik qiymati dvigatel nomerini yana bir marta o'zgartirishga imkon beradi, N10 qo'shtavrni tanlaymiz.

$$I_X = 198 \text{ sm}^4, W_X = 39,7 \text{ sm}^3.$$

Hisoblashlarni qaytarib

$$\Delta_{st} = 200(100)^3 / 3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 198 = 0,084 \text{ sm}.$$

$$\omega = \sqrt{981 / 0,084} = 108 \text{ rad/sek.}$$

$$\text{Tebranishlar o'sish koeffitsienti } \beta = 1 / [1 - (314 / 108)^2] = -0,13$$

$$\text{Dinamik koeffitsient } \hat{E}_D = 1 + (500 / 200) \cdot 0,13 = 1,33$$

$$\text{Statik kuchlanish } \sigma_{st} = 20000 / 2 \cdot 39,7 = 252 \text{ kg} / \text{sm}^2$$

$$\text{Dinamik kuchlanish } \sigma_D = \hat{E}_D \cdot \sigma_{st} = 335 \text{ kg} / \text{sm}^2$$

Ko'ndalang kesim o'lchamlarini oshirish dinamik koeffitsientni oshishi va σ_{st} ni kamayishiga olib keluvchi zarbli yukdan farqli o'laroq tebranma harakatda ushbu kattaliklar orasidagi bog'lanishi murakkab xarakterga ega bo'lib, ko'ndalang kesim o'lchamlarini aniqlashda ularni hisobga olish kerakligini ko'rsatadi.

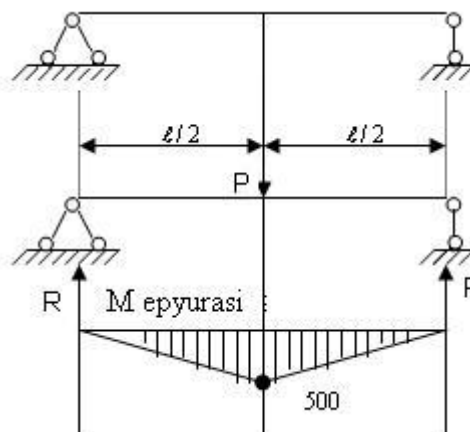
Konstruksiya ko'ndalang kesimi kerakli o'lchamlarini aniqlashda asosiy masala rezonans hodisasiga yo'l qo'ymaslik, ya'ni xususiy tebranishlar chastotasi (0,7–1,5) ω_o kritik diapazonda yotmasligiga erishishdir.

Misol tariqasida og'irligi $P=1000 \text{ kg}$ dvigatel o'rnatilgan qo'shtavrli balka ko'ndalang kesimi kerakli o'lchamlarini aniqlaylik. Dvigatel minutiga 500 marta aylanadi, qismlar sozlanmagani sababli $S=500 \text{ kg}$ (13.22-rasm) uyg'otuvchi kuch va majburiy tebranma harakat hosil qiladi. $\omega_i = 500 \text{ sek}^{-1}$, $\ell = 2 \text{ m}$.

Xususiy tebranish chastotasini $0,7 \omega_i = 350 \text{ sek}^{-1}$ deb olamiz.

$R_1 = R_2 = 300 \text{ kgk}$ bo'lsa, statik egilish kerakli kattaligi:

$$\Delta_{st} = \frac{g}{\omega} = \frac{981}{(350)^2} = -0,008 \text{ sm}$$



13.22-rasm. O'rtasiga dvigatel o'rnatilgan balka ko'ndalang kesim tanlash.

Ikki tayanchda yotuvchi, o'rtasiga Δ kuch qo'yilgan balka egriligi $\Delta = \frac{P\ell^3}{48EI_x}$, bu yerdan $I_x = \frac{1000(200)^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 0,008} = 10406 \text{ sm}^4$

Bitta qo'shtavr inersiya momenti 5203 sm^4 . Sortiment jadvalidan (ilova) №27 qo'shtavrni tanlaymiz: $I_x = 5010 \text{ sm}^4, W_x = 371 \text{ sm}^3$.

$$\text{Tebranishlar o'sish koeffitsienti } \beta = \frac{1}{1 - \left(\frac{500}{350}\right)^2} = 0,96$$

$$\text{Dinamik koeffitsient } \hat{E}_D = 1 + \frac{s}{\rho} \beta = 1 + \frac{500}{1000} \cdot 0,96 = 1,48$$

$$\text{Statik kuchlanish } \sigma_{st} = \frac{W}{2W_x} = \frac{50000}{2 \cdot 371} = 67 \text{ kg / sm}^2$$

$$\text{Dinamik kuchlanish } \sigma_D = 1,48 \cdot 67 = 100 \text{ kg / sm}^2 < [\sigma]$$

Kuchlanishining kichik qiymati qo'shtavr nomerini kichraytirishga, ya'ni № 10 qo'shtavrni tanlashga imkon beradi.

$$I_x = 198 \text{ sm}^4, W_x = 39,7 \text{ sm}^3$$

$$\Delta_{st} = \frac{1000(200)^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 198 \cdot 2} = 0,21, \quad \omega = \sqrt{\frac{981}{0,21}} = 68,3 \text{ sek}^{-1}$$

$$\beta = \frac{1}{1 - \left(\frac{500}{68,3}\right)^2} \approx 0,02, \quad \hat{E}_D = 1 - \frac{500}{1000} \cdot 0,02 \approx 1$$

$$\sigma_{st} = \frac{50000}{2 \cdot 39,7} = 630 \text{ kg / sm}^2 \text{ kattaligi } [\sigma] \text{ bilan bir xil o'lchovlidir.}$$

Shunday qilib, xususiy tebranish chastotasi kattaligi kritik holdan uzoqlashib borgan sari dinamik koeffitsient 1 ga yaqinlashib boradi, dinamik kuchlanish esa statik kuchlanishga yaqinlashib boradi.

Konstruksiya ko'ndalang kesimlarida hosil bo'luvchi nisbatan kichik kuchlanishlar bitta xususiyatga ega – tebranish jarayonida nuqtadagi kuchlanish ishorasi bir tebranish davrida qarama-qarshisiga o'zgaradi. Bunday ko'rinishdagi kuchlanish va yuklamaga ishorasi almashinuvchi yoki siklik deyiladi. Materiallarni ishorasi o'zgaruvchi yuklama ta'siridagi holati keyingi bobda o'rganiladi.

Nazorat savollari:

1. Statik va dinamik yuklar deb nimaga aytiladi?
 2. D'alamber prinsipi mohiyatini ayting?
 3. Birlík inersiya kuchi intensivligi qanday topiladi?
 4. Sterjenli sistemalar tekis aylanishdagi markaziy kuchlar inersiya intensivligi qanday topiladi?
 5. Zarb hodisasi nima va nima ta'sirida paydo bo'ladi?
 6. Zarbdagi dinamik koeffitsient nima?
 7. Yukni to'satdan qo'yilishi nima va bu holda dinamik koeffitsient nimaga teng?
 8. Zarbda kuchlanish qanday topiladi?
 9. Zarbli yuk ta'siridan kuchlanishni qanday tadbirlar asosida kamaytiriladi?
 10. Qanday tebranishlar xususiy (erkin) tebranishlar deyiladi?
 11. Qanday tebranishlar majburiy tebranishlar deyiladi?
 12. Erkin tebranma harakat chastotasi va tebranish davri qanday formulaga asosan aniqlanadi?
 13. Tebranish amplitudasi nima?
 14. Majburiy tebranishlarda (qarshilikni hisobga olmaganda) dinamik koeffitsient formulasi qanday ko'rinishga ega?
 15. Rezonans hodisasi nima va u qanday xavfga ega?
- Majburiy tebranishda dinamik kuchlanishlar qanday topiladi?

Keyslar banki

“Қаттиқ жисмнинг текис – параллел ҳаракати” мавзусидан кейслар.

1-Кейс баёни. Текис шакл ихтиёрий нуктасининг тезлигини умуман уч хил усулда топиш мумкин. Масалан кутб усулида унинг кутб нуктасининг илгариланма ҳаракат тезлиги билан, ихтиёрий нуктанинг кутб нуктаси атрофидаги айланма ҳаракат тезликларининг геометрик йиғиндисига тенг бўлади. Проекциялаш усулида, текис шакл икки нуктаси тезликларининг бу нукталарни туташтирувчи тўғри чизикдаги проекциялари тенг булади.

Кейс топшириги: кутб усули ва проекциялаш усули уртасидаги фарқларни топинг.

Кейс топширигини бажариш учун иш коғози:

Асосий фарқлар
1.
2.
3.
.....

2-Кейс баёни. Тезликлар оний марказини аниқлаш усуллари:

1. Бир жисм иккинчи бир қўзғалмас жисм сиртида ёки ичида айланма ҳаракатда бўлса, улар учун умумий бўлган нукта тезликлар оний маркази бўлади ва унинг атрофида айланма ҳаракатда бўлади.

2. $\vec{V}_A \parallel \vec{V}_B$, $\vec{V}_A \perp AB$, $\vec{V}_A \neq \vec{V}_B$, $\vec{V}_B \perp AB$ бўлса нукталардан ўтган тўғри чизик билан тезликлар охиридан ўтган тўғри чизикларнинг кесишиш нуктаси тезликлар оний маркази бўлади.

3. $\vec{V}_A \perp AB$, $\vec{V}_B \perp AB$ бўлиб $\vec{V}_A \uparrow \downarrow \vec{V}_B$ бўлса (тезликлар миқдори тенг ёки тенг эмас бўлишининг аҳамияти йўқ) нукталардан ўтган чизик билан тезликлар охирларидан ўтган чизикларнинг кесишиш нуктаси тезликлар оний маркази бўлади, жисм шу нукта атрофида оний айланма ҳаракатда бўлади.

4. $V_A = V_B, \vec{V}_A \parallel \vec{V}_B$ бўлса $(\vec{V}_A \perp AB, \vec{V}_B \perp AB)$ бўлиши шарт эмас, тезликлар оний маркази бўлмайди, чексизликда бўлади. Жисм бу ҳолда оний илгариланма ҳаракатда бўлади.

5. Юқоридагилардан бошқа ҳолатларда тезликлар оний марказини топиш учун

шу нуқталардан шу тезликларга тик чизиклар ўтказиш керак. Уларнинг кесишиш нуқтаси оний тезликлар маркази бўлади.

Кейс топшириги: Юқоридаги 5 ҳолатларда тезликлар оний марказини топиш тарифларини келтиринг.

Кейс топширигини бажариш учун иш коғози:

Ҳолатлар	Таърифлар
1.	1.
2.	2.
3.	3.
4.	4.
5.	5.
.....	

3-Кейс баёни. жисм текис параллел ҳаракат қилса, ҳар онда бу жисмда шундай бир нуқта топиладики, бу нуқтанинг тезлиги нолга тенг бўлади. Демак бундай нуқта текис параллел ҳаракат қилувчи жисмда ҳар онда мавжуд. Бу нуқтага тезликлар оний маркази дейилади. Ундан ташқари, жисм текис параллел ҳаракат қилса, ҳар онда бу жисмда шундай бир нуқта топиладики, бу нуқтанинг тезланиши нолга тенг бўлади. Бу нуқтага тезланишлар оний маркази дейилади.

Кейс топшириги: Тезликлар оний маркази ва Тезланишлар оний маркази уртасидаги фаркларни топинг.

Кейс топширигини бажариш учун иш когози:

Асосий фарклар
1. 2. 3.

“Muammoli vaziyat” uslubi

Ушбу услуб муаммо турини, келиб чиқиш сабабларини аниқлаш ва вазиятдан чиқиб кетиш ҳаракатларини излаб топиш имконини беради. Талабаларни муаммо ўстида ишлашга ўндайди. Мантикий ҳулосалар чиқаришга йўналтиради

« Muammoli vaziyat »

« Muammoli vaziyat » turi	« Muammoli vaziyat » sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari

1-Mavzu:

Kirish

Keys stadi №1

Muammoning qo'yilishi: Hisob sxemasi tanlashda inshoot elementlarining keraksiz qismlarini tashlab yuboriladi va qalinliklar etiborga olinmaydi. Buni boisi nimada?

“Muammoli vaziyat” jadvalini to'ldiring

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1.Hisob sxemasi tanlashda inshoot elementlarining keraksiz qismlarini tashlab yuboriladi va qalinliklar etiborga olinmaydi. Buni boisi nimada?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

2-Mavzu: Kirish (davomi)

Keys stadi №2

Muammoning qo'yilishi: Konstruktsiya elementlari yuzalaridagi hosil bo'ladigan kuchlanishlarning miqdori tashqi kuchlarga bog'liq. Sizningcha bu miqdor yana nimalarga bog'liq bo'lishi mumkin?

“Muammoli vaziyat” jadvalini to'ldiring

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1.Konstruktsiya elementlari yuzalaridagi hosil bo'ladigan kuchlanishlarning miqdori tashqi kuchlarga bog'liq. 2.Sizningcha bu miqdor yana nimalarga bog'liq bo'lishi mumkin?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Oddiy deformatsiyalarda IKF ni aniqlash va ularning e'yuralarini qurish

Keys stadi №3

Muammoning qo'yilishi: 3.1 shaklda ko'rsatilgan brus materialli 2 xil variantda po'lat va cho'yandan tayorlangan bo'lsa qaysi birida (3.1 d- shakl) zo'riqishning qiymati katta bo'ladi
3.2 ichki kuch faktorlari epyuralarini qurishdan maqsad nima?

“Muammoli vaziyat” jadvalini to'ldiring

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Shaklda ko'rsatilgan brus materialli 2 xil variantda po'lat va cho'yandan tayorlangan bo'lsa qaysi birida (3.1 d- shakl) zo'riqishning qiymati katta bo'ladi 2. Ichki kuch faktorlari e'yuralarini qurishdan maqsad nima?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Eguvchi moment, ko'ndalang kuch va taqsimlangan yuk orasidagi differentsial bog'lanishlar. Egilishdagi IKF epyuralarini qurish
Keys stadi №4

Muammoning qo'yilishi: Eguvchi moment, ko'ndalang kuch va taqsimlangan yuk intensivligi orasidagi differentsial bog'lanish-larning ichki kuchlar (M va Q) epyuralarini qurishda ahamiyati katta. Bunga sabab nima?

“Muammoli vaziyat” jadvalini to'ldiring

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Eguvchi moment, ko'ndalang kuch va taqsimlangan yuk intensivligi orasidagi differentsial bog'lanish-larning ichki kuchlar (M va Q) epyuralarini qurishda ahamiyati katta. Bunga sabab nima?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy soʻzlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Toʻgʻri sterjenning choʻzilishi va siqilishi

Keys stadi №5

Muammoning qoʻyilishi: 1. Maʼlumki, deformatsiyalanuvchi elastik jism energiya manbaiga aylanadi. Bunda deformatsiyaning 'otentsial energiyasi nima 'isobiga toʻ'lanadi?

2. $\sigma = \frac{N}{F}$. ifodani kuch qoʻyilgan nuqtalarga yaqin kesimlarga qoʻllash mumkinmi?

3. energiyani saqlanish qonuni $A = U$ formuladan foydalanib elastik sistemalarda koʻchishlarni aniqlasa boʻladimi?

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Maʼlumki, deformatsiyalanuvchi elastik jism energiya manbaiga aylanadi. Bunda deformatsiyaning 'otentsial energiyasi nima 'isobiga toʻ'lanadi? 2. $\sigma = \frac{N}{F}$. ifodani kuch qoʻyilgan nuqtalarga yaqin kesimlarga qoʻllash mumkinmi? 3. Energiyani saqlanish qonuni $A = U$ formuladan foydalanib elastik sistemalarda koʻchishlarni aniqlasa boʻladimi?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy soʻzlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Materiallarning xossalarini sinab oʻrganish

Keys stadi №6

Muammoning qoʻyilishi: Materiallarni choʻzilishga va siqilishga sinalganda ayrimlarida oqish davri kuzatiladi va ayrimlarida umuman kuzatilmaydi, buning sababi nima?

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
Materiallarni choʻzilishga va siqilishga sinalganda ayrimlarida oqish davri kuzatiladi va ayrimlarida umuman kuzatilmaydi, buning sababi nima?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy soʻzlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Choʻzilish va siqilishda mustahkamlik va bikrlikka hisoblar

Keys stadi №7

Muammoning qoʻyilishi:

Vazifa: Mustahkamlik va bikrlikka hisoblarning iqtisodiy ahamiyati nimada? (nazariy savollar olib tashlash). Mustahkamlik va bikrlik sharoitlaridan foydalanish bilan konstruksiyalarni loyihalashda iqtisodiy samaradorlikka erishish mumkinmi?

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Mustahkamlik va bikrlikka hisoblarning iqtisodiy ahamiyati nimada? (nazariy savollar olib tashlash). 2. Mustahkamlik va bikrlik sharoitlaridan foydalanish bilan konstruksiyalarni loyihalashda iqtisodiy samaradorlikka erishish		

mumkinmi?		
-----------	--	--

CHO'zilik - siqilishdagi statik aniqmas masalalar

Keys stadi №8

Muammoning qo'yilishi: Texnikada statik aniq va aniqmas sistema ishlatiladi. Statik aniqmas sistemalar ko'proq uchraydi. Buning sababi nima?

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
Texnikada statik aniq va aniqmas sistema ishlatiladi. Statik aniqmas sistemalar ko'proq uchraydi. Buning sababi nima?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

CHO'zilik va siqilishdagi kuchlanganlik va deformatsiyalanganlik holatlarining tahlili

Keys stadi №9

Muammoning qo'yilishi: Mo'rt materiallardan yasalgan konst-ruktsiya elementlari cho'zilik-siqilishda nima sababdan 45 gradusli kesimlar bo'yicha yemiriladilar?

Uchta finen doimiylarning bog'liq-ligini ifodalovchi 9.9 - ifoda barcha materiallar uchun tasdiqlanadimi?

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Mo'rt materiallardan yasalgan konst-ruktsiya elementlari cho'zilik-siqilishda nima sababdan 45 gradusli kesimlar bo'yicha yemiriladilar? 2. Uchta finen doimiylarning bog'liq-ligini ifodalovchi 9.9 - ifoda barcha materiallar uchun tasdiqlanadimi?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Kuchlanganlik va deformatsiya holati nazariyalari

Keys stadi №10

Muammoning qo'yilishi: Inshoot elementlari, detal yoki uning qismlarining loyihalashda bosh kuchlanishlar traektoriyalarini bilish nima uchun zarur?

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
Inshoot elementlari, detal yoki uning qismlarining loyihalashda bosh		

kuchlanishlar traektoriyalarini bilish nima uchun zarur?		
--	--	--

Bosh yuzalar va bosh kuchlanishlarni aniqlash. Morni doirasi, kuchlanishlar doirasi yordamida kuchlanganlik holatini grafik usulda aniqlash

Keys stadi №11

Muammoning qo'yilishi: Kuchlanganlik holatini grafik ravishda Mor doirasi yordamida ifodalashning avzalligi nimada?

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Kuchlanganlik holatini grafik ravishda Mor doirasi yordamida ifodalashning avzalligi nimada?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Mustaqil ta'lim mavzulari

O'qish jarayonida namunaviy dasturda keltirilgan barcha mavzular o'qituvchi tomonidan to'liq yoritilmaydi-bu tabiiy xol ayrim mavzular ilmiy yondoshishni talab etadi.

Mazkur mavzularni o'zlashtirish, o'rganish talabalarga o'qituvchi nazorati ostida bajariladigan mustaqil ish sifatida tavsiya etiladi:

Kuchlar sistemasining invariantlari (teng ta'sir etuvchiga, juft kuchga, ikkita kesuvchi kuchga yoki kuch vintiga keltirish). Bir nuqtaga qo'yilgan va taqsimlangan kuchlar; qistirib maxkamlangan jism. Richagning muvozanati. Bir necha jismdan tashkil topgan sistemaning muvozanati. Ferma. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarni Maksvell-Kremon usuli bilan aniqlash. Ishqalanish kuchlari, Ishqalanish burchagi, ishqalanish konusi, dumalashdagi ishqalanish koefitsienti. Tekis shakllarning o'qqa nisbatan statik momentlari. Ba'zi bir, bir jinsli qattiq jismlarning og'irlik markazlarini tajriba yo'li bilan aniqlash. Nuqtaning qutb koordinatalaridagi tezlik va tezlanishlari. Eyler burchaklari. Qo'zg'almas nuqta atrofida aylanayotgan qattiq jismning burchak tezligi va burchak tezlanishi. Erkin qattiq jism harakatining umumiy xoli. Erkin qattiq jism nuqtalarining tezlik va tezlanishlari. Qattiq jismning o'zaro parallel va o'zaro kesishuvchi o'qlar atrofida oniy aylanma harakatlarni qo'shish. Burchak tezliklar jufti. Kinematik vint. Oniy vint o'qi. Moddiy nuqtaning nisbiy harakat differensial tenglamalari. Koriolis va ko'chirma inertsia kuchlari. Jismlarning muvozanati va harakatiga yer aylanishining ta'siri. Vaznsizlik. Klassik mexanikaning nisbiylik nazariyasi. Moddiy nuqtaning uyg'otuvchi garmonik kuch ta'siridagi majburiy tebranma harakatlar. Moddiy nuqtaning majburiy tebranishiga qarshilik kuchining ta'siri.

Majburiy tebranma harakat amplitudasi. Dinamik koeffitsent. Rezonans hodisasi. Qattiq jismning berilgan nuqtadan o'tuvchi ixtiyoriy o'qqa nisbatan inertsia momenti. Markazdan qochma inertsia momentlari. Bosh markaziy inertsia o'qlari va ularning xossalari. O'zgaruvchan massali jismlar mexanikasi. Mehcherskiy tenglamasi. Tsiolkovski formulasi. Jismning markaziy kuch ta'siridagi harakati yuzalar qonuni Rezal teoremasi. Potentsial kuch maydoni va potentsial kuch funktsiyasi. Og'irlik kuch maydoni, markaziy kuchlar maydoni qattiq jismning qo'zg'almas nuqta atrofidagi aylanma harakat differensial tenglamalari. Aylanayotgan qattiq jismning aylanish o'qiga ko'rsatayotgan dinamik bosim kuch ini aniqlash. Lagranjning ikkinchi tur tenglamalari. Potentsial kuch bo'lganda Lagranj tenglamasi. Lagranj funktsiyasi. Bitta erkinlik darajasiga ega bo'lgan sistemaning turg'un muvozanati atrofida kichik erkin tebranishi va uning xossalari. Elementar zarbalar nazariyasi. Zarba xodisasi. Zarbali kuch va zarbali impuls. Zarbalar nazariyasining asosiy tenglamasi. Zarbalar nazariyasida umumiy teoremlar. Tiklanish koeffitsenti. Jismning qo'zg'almas to'siqqa zarbali urilish. Ikkita jismning markaziy to'g'ri chiziq bo'ylab zarbali urilish.

Testlardan namunalar

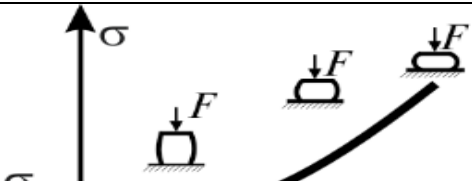
Variantlar raqami va savollar mazmuni:		Javoblar:	
1	Konstruksiyaqismlarigaqandaykonstruktivtalablarqo‘yiladi?	A	mustahkamlik
		B	bikrlik
		C	ustuvorlik
		D	barchasito‘g‘ri
2	CHo‘zilishyokisiqilishgaqarshilikko‘rsatuvchibrusningnominiayting	A	to‘sin
		B	rama
		C	arka
		D	sterjen
3	Buralishgaishlovchibrusqandaynomlanadi?	A	arka
		B	val
		C	to‘sin
		D	rama
4	Egishgaqarshilikko‘rsatuvchibrusqandaynomlanadi?	A	val
		B	to‘sin
		C	arka
		D	sterjen
5	Qaysitayanchchiziqlivaburchakliko‘chishlarnicheklaydi?	A	qistiribmahkamlangan
		B	sharnirli-qo‘zg‘almas
		C	sharnirli-qo‘zg‘aluvchan
		D	barchasito‘g‘ri
6	Asosiy cheklanishmodeliqaysijavobdato‘g‘riko‘rsatilgan?	A	materialanizotrop
		B	materialg‘ovaksiz-yaxlit
		C	materializotrop
		D	barchasinoto‘g‘ri
7	Egish jarayonida qaysi ichki kuch sodir bo‘ladi?	A	bo‘ylamakuch
		B	burovchimoment
		C	barchasi to‘g‘ri
		D	kesuvchi (qirquvchi) kuch
8	Buralish jarayonida paydo bo‘luvchi ichki kuch – zo‘riqish qaysijavobdato‘g‘riko‘rsatilgan?	A	burovchimoment
		B	eguvchi moment
		C	ko‘ndalang kuch
		D	bo‘ylamakuch
9	Qaysijavobdadeformatsiya turlarito‘g‘riko‘rsatilgan?	A	chiziqli, burchakli, elastik
		B	cho‘zilish-siqilish, plastik
		C	buralish, siljish, salqilik
		D	barchasito‘g‘ri
10	YUklanishmodeliqaysijavobdato‘g‘riko‘rsatilgan?	A	hajmiy va sirtqi kuchlar
		B	statikva dinamik (zarbali) kuchlar
		C	barchasinoto‘g‘ri
		D	to‘plangankuch, yoyilgan kuch, juft kuch

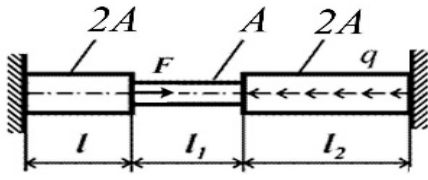
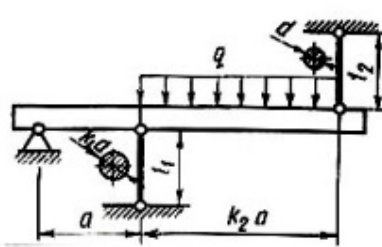
1	2
---	---

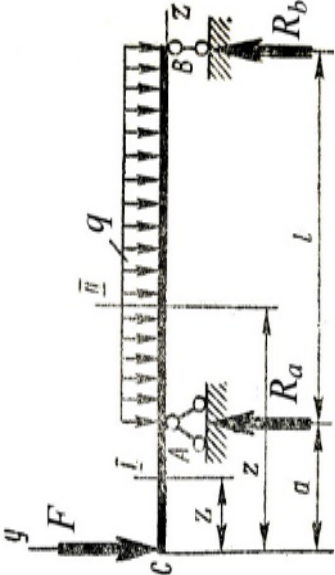
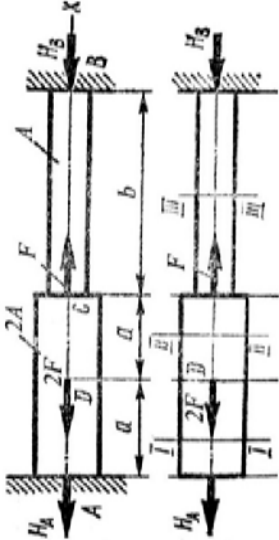
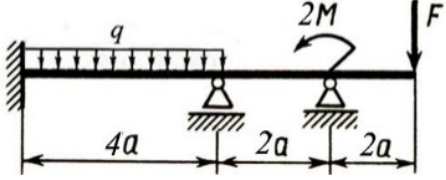
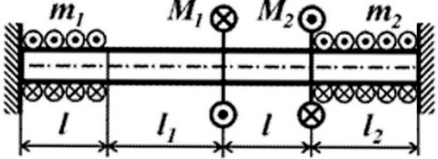
1 1	CHO'zlash-siqilishdamustahkamlikshartiqandayifodalanadi?	A	$\tau_{\max} = \frac{T}{W_{\rho}} \leq \tau_{adm}$
		B	$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{A} \leq \sigma_{adm}$
		C	$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq \sigma_{adm}$
		D	$\tau_{kes} = \frac{F}{n \cdot 2A} \leq \tau_{\max}$
1 2	CHO'zlash-siqilishda Gukqonuniqandayifodalanadi?	A	$\sigma = E \varepsilon$
		B	$\Delta \ell = \sum_{i=1}^n \Delta \ell_i = \sum_{i=1}^n \frac{N_i \ell_i}{E_i A_i}$
		C	$\varphi_z = \frac{T_e}{GJ_{\rho}} \cdot z$
		D	$\sigma = - \frac{1}{\mu} E \varepsilon'$
1 3	Qaysiformulaburalishdadeformatsiyaningpotensialenergiyasi niifodalaydi?	A	$U = \frac{F^2 \ell}{2EA}$
		B	$U = \sum_{i=1}^n \frac{T_{ei}^2 l_i}{2GJ_{i\rho}}$
		C	$U = \frac{\delta^2 A \ell}{2E}$
		D	$U = \frac{\sigma^2 A \ell}{2E}$
1 4	Qaysiformulaegilishdadeformatsiyaningpotensialenergiyasini fodalaydi?	A	$U = \frac{1}{2EJ_x} \int_{(l)} M^2 dz + \frac{\eta}{2GA} \int_{(l)} Q^2 dz$
		B	$U = \frac{\sigma^2 A \ell}{2E}$
		C	$U = \sum_{i=1}^n \frac{T_{ei}^2 l_i}{2GJ_{i\rho}}$
		D	$U = \frac{F^2 \ell}{2EA}$

1	2
---	---

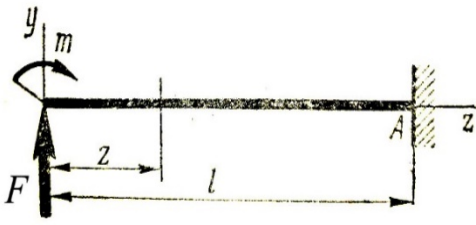
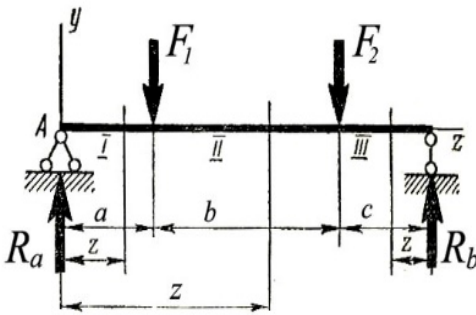
1 5	Nuqtalaro‘rnigato‘g‘ri javobni qo‘yib o‘qing Quyidagi formula “.....” ni ifodalaydi: $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$	A	“Eguvchi moment, kesuvchi kuch va yoyilgan kuch intensivligi orasidagi differensial va integral munosabat”
		B	Elastiklik sharoitlarini o‘z ichiga olgan deformatsiya koeffitsientlarini ifodalovchi munosabat
		C	“Burovchi moment va aylanma moment intensivligi orasidagi differensial va integral munosabat”
		D	barchasini o‘z ichiga olgan
1 6	Nuqtalaro‘rnigato‘g‘ri javobni qo‘yib o‘qing Quyidagi formula “.....” ni ifodalaydi: $\frac{d^2 M_z}{dz^2} = \frac{dQ_y(z)}{dz} = -q$	A	to‘g‘ri javob ko‘rsatilmagan
		B	Elastiklik sharoitlarini o‘z ichiga olgan deformatsiya koeffitsientlarini ifodalovchi munosabat
		C	“Burovchi moment va aylanma moment intensivligi orasidagi differensial va integral munosabat”
		D	“Eguvchi moment, kesuvchi kuch va yoyilgan kuch intensivligi orasidagi differensial va integral munosabat”
1 7	Materiallarning asosiy mexanik xossalari ni ifodalovchi kattaliklarni aniqlang	A	$\sigma_{mut}, \sigma_e, \sigma_{o.ch.}, \sigma_{v.q}$
		B	E, μ
		C	δ_q, ψ
		D	to‘g‘ri javob ko‘rsatilmagan
1 8	Ruxsat etilgan normal kuchlanishning formulasi toping	A	$\sigma_{o.ch} = \frac{F_{o.ch}}{A_0}$
		B	$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{xavf}}{n_{adm}}$
		C	$\psi = \frac{A_0 - A_b}{A_0} \cdot 100\%$
		D	$\delta_q = \frac{\ell_k - \ell_0}{\ell_0} \cdot 100\%$
1 9	Qiyshiqegilishdan neytral o‘qning holati qaysi formulayordamida aniqlanadi?	A	$\tan \beta = \frac{J_x}{J_y} \tan \varphi$
		B	$y = -\frac{J_x}{J_y} \tan \varphi \cdot x$
		C	$\left(1 + \frac{x_F}{i_y^2} x + \frac{y_F}{i_x^2} y\right) = 0$
		D	$\sigma_{max} = \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_x}{W_x} \leq \sigma_{adm}$

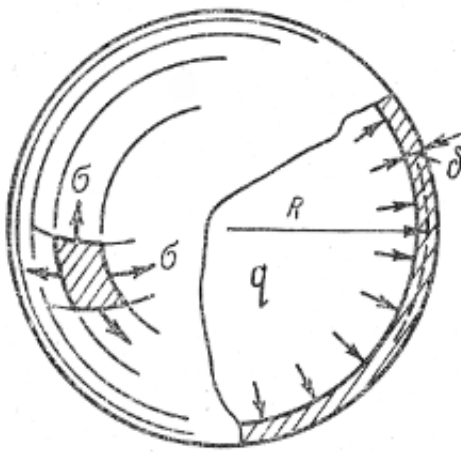
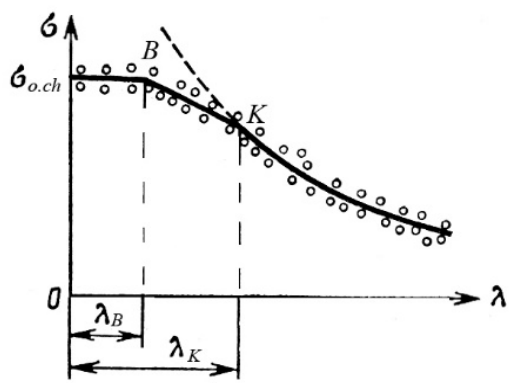
1		2	
2		A	faqat mo‘rt materiallar
		B	yuqori plastiklik hamda anizotrop xossalarni o‘z ichiga olgan moyonqiluvchi, masalan yog‘och (qayin) kabi materiallar

0	Ushbudiagramma ningsiqilishjarayoninitavsiflaydi. "....."	C	anizotropxossalarnio'zidanamoyo nqiluvchi, masalanyog'och (qayin) kabimateriallar
		D	alyuminiy, latun, kam uglerodli po'lat kabi yuqori plastiklik xossalarni o'zida namoyon qiluvchi materiallar
2 1	Mazkurformulayordamida "....." aniqlanadi: $a_{sh} = \frac{1+\mu}{6E} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$	A	tekiskuchlanishholatidapotensiale nergiya
		B	hajmningo'zgarishidanhosilbo'lg ansolishtirmapotensialenergiya
		C	shaklningo'zgarishidanhosilbo'lg ansolishtirmapotensialenergiya
		D	chiziqlikuchlanishholatidapotensi alenergiya
2 2	Ushbuformulayordamidanazariyasibo'yichaekvivalentkuchlanishaniqlanadi: $\sigma_{ekv}^{III} = \sigma_1 - \sigma_3 < \sigma_{adm}$	A	"Engkattaurunmakuchlanish"
		B	"Engkattanormalkuchlanish"
		C	"SHaklo'zgarishidanhosilbo'lgan solishtirmapotensialenergiyasi"
		D	"Engkattanisbiyuzayish"
2 3	Ushbuformulaqandayqonunniifodalaydi? $\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{E} [\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E} [\sigma_2 - \mu(\sigma_1 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E} [\sigma_3 - \mu(\sigma_1 + \sigma_2)] \end{aligned} \right\}$	A	Dinamikaningikkinchi (asosiy) qonunini
		B	Markaziycho'zilishyokisiqilish, egilish, siljishhamdaburalishjarayonlarid aGukqonunini
		C	Inersiyaqonunini
		D	UmumlashganGukqonunini
2 4	Statik aniqmaslik darajasi nechaga teng? 	A	uchgateng
		B	ikkigateng
		C	birgateng
		D	chizmadatasvirlanganvamarkaziy cho'zilish-siqilishgaqarshilikko'rsatuvchiste rjenstatikaniqdir
1		2	
2 5	Statik aniqmaslik darajasi nechaga teng? 	A	birgateng
		B	chizmadatasvirlanganvamarkaziy cho'zilish-siqilishgaqarshilikko'rsatuvchis terjenlar tizimidan va "absolyut qattiq" g'o'ladan tshkil topgan konstruksiya statikaniqdir
		C	uchgateng
		D	ikkigateng
	IvaII oraliqlar uchun eguvchi momentning ifodasini toping	A	$M_z^I = -F \cdot z,$ $M_z^{II} = -Fz - \frac{1}{2} qz^2 + R_A(z - a)$
		B	$M_z^I = -F \cdot z,$

2 6		$M_z^{II} = -Fz - \frac{1}{2}qz^2$
		C $M_z^I = -F \cdot z,$ $M_z^{II} = -Fz + R_A(z - a)$
		D $M_z^I = -F \cdot z,$ $M_z^{II} = -\frac{1}{2}qz^2 + R_A(z - a)$
2 7	II oraliq uchun bo'ylama kuchva normal kuchlanishlarning ifodasini toping 	A $N_x^I = H_A - 2F,$ $\sigma_x^I = \frac{H_A}{2F} - \frac{F}{2A}$
		B $N_x^I = 2H_A + 3F,$ $\sigma_x^I = \frac{H_A}{2F} - \frac{F}{2A}$
		C $N_x^I = 2H_A + F,$ $\sigma_x^I = \frac{H_A}{A} - \frac{F}{2A}$
		D $N_x^I = H_A + 2F,$ $\sigma_x^I = \frac{H_A}{2A} + \frac{F}{A}$
2 8	1 Statik aniqlaslik darajasi nechaga teng? 	2 A chizmadatasvirlanganto'sin statikaniqdir B uchgateng C ikkigateng D birgateng
2 9	Statik aniqlaslik darajasi nechaga teng? 	A chizmadatasvirlanganval statikaniqdir B birgateng C ikkigateng D uchgateng

3 0	Qaysiformulayordamidachoʻzilish-siqilishgatengqarshilikkoʻrsatuvchisterjenlarningmustahkam kesimyuzaoʻlchamlarianiqlanadi?	A	$A \geq \frac{N_{\max}}{\sigma_{adm}}$
		B	$A \geq \frac{F}{\sigma_{adm} - \gamma \cdot e}$
		C	$W_x \geq \frac{M_{\max}}{\sigma_{adm}}$
		D	$W_x = \frac{\sqrt{M^2 + 0,75T^2}}{\sigma_{adm}}$
3 1	Qaysiformulaurunma kuchlanishlarnig juftlik qonunini ifodalaydi?	A	$\tau_{\max} = \frac{T}{J_{\rho}} \cdot R$
		B	$\tau = G \gamma$
		C	$\tau_y = \frac{QS_x^{a_{\text{жр.}}}}{bJ_x}$
		D	$\tau_{xy} = -\tau_{yx}$
3 2	Egilishdeformatsiyasiuchunurunmakuchlanishnianiqlashboʻy ichaD.Juravskiyformulasinitopiq	A	$\tau_{\max} = \frac{T}{J_{\rho}} \cdot R$
		B	$\tau = G \gamma$
		C	$\tau_y = \frac{QS_x^{a_{\text{жр.}}}}{bJ_x}$
		D	$\tau_{xy} = -\tau_{yx}$
1		2	
3 3	Qaysishart yordamida toʻsinlarning yuk koʻtara olishga layoqatliligi aniqlanadi?	A	$M_{\max} \leq \sigma_{adm} \cdot W_x$
		B	$N_{\max} \leq \sigma_{adm} \cdot A$
		C	$T_{\max} \leq \tau_{adm} \cdot W_{\rho}$
		D	toʻgʻri javob koʻrsatilmagan
3 4	Qaysiformulachoʻzilish-siqilishgatengqarshilikkoʻrsatuvchisterjenlarningkesimyuzasi oʻzgarish qonuniyatini ifodalaydi?	A	$A = F / \sigma$
		B	toʻgʻri javob koʻrsatilmagan
		C	$W_x = \frac{\sqrt{M^2 + 0,75T^2}}{\sigma_{adm}}$
		D	$A_z = A_0 \cdot e^{\frac{\gamma \cdot z}{\sigma_{adm}}}$
3 5	Ushbuformulayordamidaqandayparametraniqlanadi?	A	choʻzilishda deformatsiyaning potensial energiyasi
		B	siqilishda deformatsiyaning potensial energiyasi

	$U = \frac{1}{2EJ_x} \int_{(l)} M^2 dz + \frac{\eta}{2GA} \int_{(l)} Q^2 dz$	C	egilishda deformatsiyaning potentsial energiyasi
		D	buralishda deformatsiyaning potentsial energiyasi
3 6	Konsol uchun qirquvchi kuchva eguvchi momentlarning ifodasini toping 	A	$Q_z = -F,$ $M_z = -Fz - 3m$
		B	$Q_z = -2F,$ $M_z = Fz + m$
		C	$Q_z = -F,$ $M_z = -Fz + m$
		D	$Q_z = F,$ $M_z = Fz + m$
3 7	Oddiy to'sinning II oralig'i uchun qirquvchi kuchva eguvchi momentlarning ifodasini toping 	A	$Q_z^{II} = R_A - F_1,$ $M_z^{II} = R_A z - F_1(z - a)$
		B	$Q_z^{II} = R_A + F_1,$ $M_z^{II} = R_A z - F_1(z - a)$
		C	$Q_z^{II} = R_A - F_1,$ $M_z^{II} = R_A z + F_1(z - a)$
		D	$Q_z^{II} = F_1 - F_2,$ $M_z^{II} = R_A z - F_1(z - a)$
1		2	
3 8	To'g'rito'rtburchaklikesimningog'irlikmarkazidano'tuvchig orizontalo'qqan nisbatan inersiyamomenti qanday aniqlanadi?	A	Barcha javoblar to'g'ri
		B	$I_{xs} = \frac{bh^3}{12}$
		C	$I_{xs} = \frac{bh^3}{3}$
		D	$I_{xs} = \frac{bh^3}{36}$
3 9	Egilishda doiraviy kesimning og'irlik markazidano'tuvchig o'qqa nisbatan qutb qarshiligimomenti qanday aniqlanadi?	A	$W_{xs} = \frac{bh^2}{6}$
		B	$W_\rho = \frac{\pi \cdot D^3}{16}$
		C	$W_\rho = \frac{\pi \cdot D^3}{32}$
		D	$J_\rho = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$

4 0	YUqqadevorliidishlarnihisoblashdaqaysiformulaishlatiladi? 	A $\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_t}{\rho_t} = \frac{p}{\delta}$
		B $\pm \frac{d^2 v}{dz^2} = - \frac{M(z)}{EJ_x}$
		C $\Delta = \sum_{i=1}^n \int_{(S)} \frac{M_F \overline{M}_i}{EJ} ds$
		D $\Delta = \sum_{i=1}^n \frac{A_i \eta_i^c}{EJ_i}$
4 1	Ushbu formula qanday nomlanadi? $\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{r_1^2 p_1 - r_2^2 p_2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{r_1^2 r_2^2 (p_1 - p_2)}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{1}{r^2} \\ \sigma_\theta &= \frac{r_1^2 p_1 - r_2^2 p_2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{r_1^2 r_2^2 (p_1 - p_2)}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{1}{r^2} \end{aligned} \right\}$	AYUqqadevorliidishlaruchunLap lasformulasi
		BEgilishdaurunma kuchlanish - D.Juravskiyformulasi
		CEgilishdanormalkuchlanishnian iqlashbo'yichaNaveformulasi
		DQalin devorli quvurlarni hisoblash uchun Lamé formulasi
1		2
4 2	Grafikdan Eyler formulasining ishlatilish chegarasini ko'rsating 	A $0 \div \lambda_B$
		B $0 \div \lambda_K$
		C $\lambda_B \div \lambda_K$
		D $\lambda > \lambda_K$
4 3	F.YAsinskiyningempirik formulalariniko'rsating	A $\sigma_{kp.} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}, \quad \lambda = \frac{\mu \ell}{i_{\min}}$
		B $F_{kp.} = \frac{n^2 \pi^2 EJ_{\min}}{\ell^2}$
		C $\sigma_{kp.} = a - b \cdot \lambda, \quad \sigma_{kp.} = a - b \cdot \lambda + c \lambda^2$

		D	<i>barchasito‘g‘ri</i>
4 4	Bo‘ylamaegilishdasterjenmaterialinio‘zgartirmasdanuningegi luvchanligi 2 martaoshirilsa, kritikkuchlanishqandayo‘zgaradi?	A	2 barobaroshadi
		B	2 barobarkamayadi
		C	4 barobaroshadi
		D	4 barobarkamayadi
4 5	Bo‘ylamaegilishdasterjenbikrliginio‘zgartirmasdanuninguzu nligi4martaoshirilsa, kritikkuchqandayo‘zgaradi?	A	16 barobaroshadi
		B	16 barobarkamayadi
		C	8 barobaroshadi
		D	8 barobarkamayadi

GLOSSARIY

Asosiy cheklanishlar modeli - bi shunday farazlarki, birinchidan loyihalash - hisoblash jarayonlarini soddalashtiradi, ikkinchidan esa jism materiali yaxlit (g‘ovaksiz), bir jinsli, izotrop, to‘la elastik hamda tashqi kuchlar ta‘siridan ideal elastik jismda hosil bo‘ladigan kuchlanish va deformatsiyalar chiziqli bog‘lanishda deb tahminlar yuritishga imkoniyat beradi.

Asosiy tizim - statik aniqmas sistemalardagi ortiqcha bog‘lanishlarni va boshqa hamma yuklarni olib tashlab, hosil qilingan tizim.

Anizotrop materiallar – shunday materiallarki, ularning fizik-mexanik xossalari turli yo‘nalishlar bo‘yicha har xil bo‘ladi; ularga yog‘och, faner, plastmassa va tolali materiallar misol bo‘ladi.

Aylanish burchagi - to‘sin uzunligi bo‘yicha olingan ixtiyoriy ko‘ndalang kesimning dastlabki (deformatsiyalanmagan) vaziyatga nisbatan tekis qolgan holda neytral o‘q atrofida ma‘lum burchakka og‘ishi.

Bikrlik - konstruksiya yoki konstruksiya qismlarining geometrik o‘lchami va shakli o‘zgarsa-da, ammo "haddan tashqari katta" deformatsiyalar hosil qilmasligi yoki boshqacha aytganda, deformatsiyalarga qarshilik ko‘rsata olishi.

Brus - ko‘ndalang kesim yuza o‘lchamlari uzunlik o‘lchamiga nisbatan juda kichik bo‘lgan jism.

Bo‘ylama kuch - ajratilgan qismga qo‘yilgan tashqi kuchlar va reaksiya kuchlaridan ko‘ndalang kesim normaliga mos keluvchi o‘qqa nisbatan olingan proektsiyalarning algebraik yig‘indisi.

Burovchi moment - ajratilgan qismga qo‘yilgan tashqi kuchlar va reaksiya kuchlaridan ko‘ndalang kesim normaliga mos keluvchi o‘qqa nisbatan olingan momentlarning algebraik yig‘indisi.

Bosh yuzalar – urinma kushlanishlari nolga teng bo'lgan uzalar.

Bosh kuchlanishlar - bosh yuzalarga ta'sir qiluvchi normal kuchlanishlar.

Bo'ylama egilish - to'g'ri chiziqli uzun va ingichka siqilgan sterjenlar ustuvorligining yo'qolish hodisasi.

Burchakli ko'chish – jismdan ajratilgan kesmaning kuch qo'yilguncha va kuch qo'yilgandan holatlarining orasidagi burchak.

Birinci tur elastiklik moduli – proporsionallik chegarasigacha kuchlanish bilan deformatsiyaning proporsionallik koeffitsienti.

Dinamik (zarbli) kuchlar - juda qisqa vaqt mobaynida o'z miqdori va qo'yilish nuqtalarini sezilarli darajada katta tezliklar bilan o'zgartiruvchi kuchlar.

Deformatsiya – barcha ko'chishlarning to'plami bo'lib, jismlar shakli va hajmi o'zgarishi.

Elastik (butunlay yo'qoluvchi) deformatsiyalar - tashqi kuchlar ta'siri olingandan so'ng jism o'zining dastlabki geometrik shaklini egallaganda hosil bo'luvchi deformatsiyalar.

Eguvchi moment - ajratilgan qismga qo'yilgan tashqi kuch va reaksiya kuchlaridan ko'ndalang kesim og'irlik markaziga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisi.

Epyura - ichki kuchlarning brus uzunligi bo'yicha o'zgarish qonuniyatlarini ko'rsatuvchi grafik yoki diagramma.

Elastiklik chegarasi - namuna yuksizlantirilganda qoldiq deformatsiya hosil qilmasdan uning materiali chidash beradigan eng katta kuchlanish.

Eng katta normal kuchlanish nazariyasi - buni Galiley taklif etgan bo'lib, materialda chegaraviy kuchlanish holati paydo bo'lishiga eng katta normal kuchlanish sabab bo'ladi degan tahmin (gipoteza)ga asoslangan nazariyadir.

Eng katta cho'zilish nazariyasi - buni Marriot taklif qilgan bo'lib, materialda chegaraviy kuchlanish holati paydo bo'lishiga eng katta cho'zilish sabab bo'ladi, degan tahminga asoslangan nazariyadir.

Eng katta urinma kuchlanishlar nazariyasi - buni Kulon taklif etgan bo'lib, materialda chegaraviy kuchlanish holati paydo bo'lishiga eng katta urinma kuchlanishlar sabab bo'ladi, degan taxminga asoslangan nazariyadir.

Egilgan o'q yoki elastik chiziq - deformatsiyalangan to'sinning barcha ko'ndalang kesim og'irlik markazlarining geometrik o'ri.

Ferma - bir qancha sterjenlarning shamirlar vositasida tutashtirilishidan hosil bo'lgan geometrik o'zgarmas tuzilma.

Guk qonuni – proporsionallik chegarasigacha kuchlanish va deformatsiyaning o'zgarmas nisbatda bo'lishining matematik ifodasi. SHuningdek, deformatsiya yo'qolgunch deformatsiya kattaligi diformatsiyalovchi kuchga to'g'ri – chiziqli mutonasibdir.

Hisob chizmasi - haqiqiy konstruksiyalar va ularning qismlari uncha muhim bo'lmagan ikkinchi darajali konstruktiv xususiyatlar va tashqi omillardan xalos etilib, ular shartli ravishda soddalashtirilgan ko'rinishlardagi, qulaylashtirilgan y'ani ixchamlashtirilgan tasvir.

Ichki kuchlar yoki zo'riqishlar - deformatsiyalangan jism tarkibidagi zarrachalarning dastlabki muvozanatini saqlash yoki tiklashga intilgan kuchlar.

Kesish usuli - deformatsiyalanuvchi qattiq jismlarning kesimlarida hosil bo'luvchi ichki kuchlarning teng ta'sir etuvchisini topish maqsadida qo'llaniladigan uslub.

Kesish usulining mohiyati - quyidagi ishlarni navbat bilan bajarishdan iborat:

- 1) brusni ixtiyoriy tekislik bilan fikran kesish;
- 2) ixtiyoriy tomonni alohida ajratib olish;
- 3) ajratilgan qismning dastlabki muvozanatini tiklash maqsadida tashlab yuborilgan tomonning ta'sirini kesim yuzi bo'yicha ixtiyoriy ravishda taqsimlanuvchi va kesimning har bir nuqtasiga qo'yilgan kuchlar bilan almashish;
- 4) ajratilgan qismning muvozanatini tekshirish.

Ko'ndalang kuch - ajratilgan qismga qo'yilgan tashqi kuch va reaksiya kuchlaridan markaziy bosh inersiya o'qlari ox va oy larga nisbatan olingan proeksiyalarning algebraik yig'indisi.

Konstruksion materiallarning asosiy mexanik xossalari - bunda ularning elastiklik, mustahkamlik, plastiklik, energetik, qattiqligi hamda zarbiy qovushqoqlik kabi sonli va sifat ko'rsatkichlari tushuniladi.

Ko'ndalang kesimning bikrligi - bu shunday 2 ta muhim parametrlarning o'zaro ko'paytmasiki, ulardan *birimateriallarning elastiklik moduli* (masalan, markaziy cho'zilish yoki siqilishda va egilishda birinchi tur elastiklik - Yung modulidan, siljish va buralishda esa ikkinchi tur elastiklik modulidan iborat) hamda *ikkinchisi* esa umumiy holda *tekis shaklning geometrik xarakteristikasini* (masalan, markaziy cho'zilish yoki siqilishda va siljishda kesim yuza, buralish va egilishda tegishlica, qutb va o'qli inertsia momentlaridan iborat) ifodalaydi.

Ko'ndalang egilishda kesim yuzalarda eguvchi momentdan tashqari kesuvchi kuch ham paydo bo'ladi.

Kesim yadrosi - markazlashmagan cho'zilish yoki siqilishga qarshilik ko'rsatuvchi brusning kesim og'irlik markazi atrofida joylashgan shunday yopiq sohaki, agar kuch shu sohaning ichkarisiga yoki uning konturiga qo'yilsa, kesimda faqat bir xil ishorali kuchlanish paydo bo'ladi.

Kritik kuch - farqsiz muvozanat holatiga tegishli shunday kuchki, agar uning qiymati "go'yoki salgina" kamaytirilsa sterjen ustuvor, aksincha oshirilsa, u noustuvor muvozanat holatni egallaydi.

Lyuders-CHernov chiziqlari - oquvchanlik maydonchasida namunaning yaltiroq sirti xiralashib, uning o'qi bilan 45° burchak tashqil etuvchi darz chiziqlari.

Mustahkamlik - konstruksiya yoki konstruksiya qismlarining buzilmasdan (bo'laklarga ajralib ketmasdan) qarshilik ko'rsatib, bardosh bera olishi.

Mustahkamlik chegarasi - namuna chidash bera olmaydigan eng katta kuchning uning dastlabki kesim yuzasiga bo'lgan nisbati.

Mo'rtlik - tashqi ta'sir kuchi natijasida materiallarning sezilarli darajada qoldiq deformatsiya hosil qilmasdan buzilish layoqati.

Mustahkamlik shartlari - bu sunday sartlarki, tekshirilayotgan muammolarning mazmun-mohiyatidan kelib chiqib brus (sterjen, val, to'sin)larning ko'ndalang kesimlarida paydo bo'lgan maksimal kuchlanishlarni mazkur brus materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishlar bilan taqqoslash barobarida quyidagi 3 ta masalani hal etishga asos bo'ladi:

- mustahkamlikka tekshirish;
- mustahkam kesim yuza tanlash;
- eng katta kuch (yuk)ni aniqlash.

Mustahkamlik nazariyalari - materiallarda xavfli holatning boshlanish sabablarini tajribalarga asoslangan cheklanish (taxmin)lar yordamida turli omillarga bog'lab tekshiruvchi nazariyalar.

Neytral qatlam - egilish jarayonida to'sinning cho'zilmagan va siqilmagan tolalari yotgan qatlami.

Neytral o'q - neytral qatlam tekisligi bilan to'sinning ko'ndalang kesim tekisligi kesishganda hosil bo'luvchi chiziq.

Normal kuchlanish – to'la ko'chlanishning yuzaga perpendikulyar yo'nalgan proeksiyasi.

Oquvchanlik chegarasi - deyarli o'zgarmas kuchda ham sezilarli darajada deformatsiyaning oshishi sodir bo'lishi, yani materiallarnind go'yoki "oqishi"ga mos holat.

Plastina yoki **plita** - qalinligiga nisbatan qolgan ikkita o'lchamlari katta bo'lgan va tekis parallel sirtlar bilan chegaralangan jismlar.

Plastik (qoldiq) deformatsiyalar - jismdan tashqi kuchlar olingandan keyin ham u o'zining dastlabki geometrik shaklini egallay olmaganda hosil bo'luvchi deformatsiyalar.

Puxtalanish (naklyop) - namuna oquvchanlik chegarasidan yuqori kuchlanishda yuklanib, to'satdan qayta yuksizlantirilganda mutanosiblik chegarasi ortib, oquvchanlik maydonchasi yo'qolishi, shuningdek, plastiklik xususiyati kamayib, mo'rtligi oshisi.

Plastiklik - tashqi ta'sir kuchi natijasida materiallarning buzilmasdan qoldiq deformatsiya olish layoqati.

Puasson koeffitsienti – ko'ndalang va bo'ylama deformatsiyalarning o'zaro nisbati.

Qobiq - qalinligiga nisbatan qolgan ikkita o'lchamlari katta bo'lgan va egri sirtlar bilan chegaralan jismlar.

Qistirib mahkamlangan tayanch - unga tutashtirilgan to'sin kesimining to'g'ri chiziqli va burchakli ko'chishlariga yo'l qo'ymaydigan tayanch.

Qattiqlik - materialning yuzasiga boshqa materialning botib kirishiga qarshilik ko'rsata olish xususiyati.

Qiyshiq egilish - barcha tashqi yuklar (tayanch reaksiyalari ham) to'sinning bo'ylama o'qidan o'tuvchi bitta tekislikda yotganda, lekin bu tekislik bosh inersiya tekisliklari bilan ustma-ust tushmaganda hosil bo'luvchi egilish.

Rama - bir qancha bruslarning o'zaro biki qilib tutashtirilishi natijasida hosil bo'lgan tuzilma; ramaning vertikal sterjenlari ustun, gorizonta sterjenlari esa rigel deyiladi.

Ruxsat etilgan kuchlanishlar -tajribalar yordamida materiallarning asosiy mexanik tavsiflari aniqlangandan keyin, topish mumkin bo'lgan shunday kuchlanishlarki, ular ta'sirida mazkur materiallardan tayyorlangan konstruksiyalarning tarkibiy qismlari belgilangan muddat davomida o'zining mustahkamligini yo'qotmasdan xavf-xatarsiz ishlaydi.

Sterjen - cho'zilish yoki siqilishga qarshilik ko'rsatuvchi brus.

Statik kuchlar - noldan boshlab o'zining oxirgi qiymatigacha sekin, bir tekisda oshib boruvchi, keyin esa o'zgarmasdan qoluvchi kuchlar.

Sof siljish - elastik sterjendan ma'lum qiyalikdagi tekisliklar yordamida ajratib olingan elementning tomonlariga faqat urunma kuchlanishlar ta'siridagi tekis kuchlanish holatidir. Shuningdek, sof siljishda hajmning o'zgarishidan hosil bo'ladigan solishtirma potensial energiya nolga teng bo'lib, to'la solishtirma potensial energiya shaklning o'zgarishiga sarf bo'ladigan solishtirma potensial energiyadan iborat bo'ladi.

Sof egilishda to'sinning ko'ndalang kesim yuzalarida kesuvchi kuch nolga teng bo'lib, eguvchi moment o'zgarish miqdoriga teng bo'ladi.

Salqilik - to'sinning ko'ndalang kesimi og'irlik markazining to'sin o'qiga tik (perpendikulyar) yo'nalishdagi ko'chishi.

To'sin - egilishga qarshilik ko'rsatuvchi brus.

Tadqiqot mavzui quyidagilardan iborat:

a) konstruktsiya qismlarining o'ziga xos, ayniqsa xavfli kesimlarida paydo bo'luvchi ichki kuch, kuchlanish, deformatsiya va ko'chishlarni aniqlash;

b) konstruktsiya qismlarining mustahkamlik, bikrlilik, ustuvorlik kabi talablarni qanoatlantiruvchi zaruriy, ishonchli va amalda foydalanishga qulayroq o'lchamlarini aniqlash;

d) berilgan o'lchamlar bo'yicha konstruktsiya qismlarining xavf-xatarsiz ishlashini ta'minlovchi eng katta kuch (yuk)larni topish.

Teng qarshilikli sterjenlar - ko'ndalang kesimlari uzunlik bo'ylab ma'lum qonuniyat bo'yicha o'zgaruvchi va barcha ko'ndalang kesimlaridagi normal kuchlanishlari ruxsat etilgan normal kuchlanishga teng bo'lgan sterjenlar.

Tekis shakllarning geometrik tavsiflari - bular buralish, egilish, murakkab deformatsiya, siqilgan sterjenlarning ustuvorligi va dinamik yuklarning ta'sirlarini o'rganishda muhim ahamiyatga ega bo'lib, ular quyidagilardan iboratdir:

- tekis shakllarning o'qqa nisbatan statik momentlari;
- tekis shakllarning inersiya momentlari;
- tekis shakllarning qarshilik momentlari.

Tekis egilish - barcha tashqi yuklar (tayanch reaksiyalari ham) to'sinning bo'ylama o'qidan o'tuvchi bitta tekislikda yotganda va bu tekislik simmetriya tekisliklari bilan ustma-ust tushganda hosil bo'luvchi egilish.

Teng kuchli (ekvivalent) tizim - brusga qo'yilgan tashqi kuchlar va ortiqcha bog'lanishlar bilan yuklatilgan asosiy tizim.

Toliqish - darz paydo bo'lish va emirilishga olib keladigan davriy o'zgaruvchan kuchlanishlar ta'siridan material shikastlanishining asta-sekin to'planish jarayoni.

Ustuvorlik - konstruktsiya yoki konstruktsiya qismlarining dastlabki (yuk qo'yilmagan paytdagi) elastik muvozanat holatni saqlay olishi esa deyiladi.

Ustuvor muvozanat - etarli darajada kichik siquvchi kuch ta'siridagi sterjenni birorta ko'ndalang kuch bilan yon tomondan turtib yuborilganda, kuchlar ta'siri to'xtatilgach, sterjen bir oz tebranib, o'zining dastlabki to'g'ri chiziqli holatiga qaytgandagi holati.

Urunma kuchlanish - to'la ko'chlanishning yuzaga urinma yo'nalgan proeksiyasi.

Val - buralishga qarshilik ko'rsatuvchi brus.

Vazmin jismlar - uchala o'lchamlari ham bir xil tartibda bo'lgan jismlar hisoblanib, ularga binolarning asosi, devor damba, ko'prik tayanchi va shu kabilar misol bo'ladi.

Yupqa devorli sterjenlar - uchala o'lchamlari mos ravishda bir-birlaridan taxminan $8 \div 10$ martagacha farq qiluvchi jismlar.

Zarbiy qovushqoqlik - materiallarning zarbiy kuchlar ta'siriga sinmasdan qarshilik ko'rsata olish xususiyati.

O'qli kuchishlar – chiziqli ko'chishning koordinata o'qlariga proektsiyalari.

SHarnirli-qo'zg'aluvchan tayanch - to'sin uchining gorizontaal ko'chishi va ko'ndalang kesimining aylanishiga qarshilik ko'rsatmaydigan tayanch.

SHarnirli-qo'zg'almas tayanch - nuqtaga tegishli kesimning erkin aylanishiga imkon bersada, lekin to'sin uchining hech qanday chiziqli ko'chishiga yo'l qo'ymaydigan tayanch.

Statik aniq masalalar - Tekshirilayotgan ob'ektlarning tayanchlarida hosil bo'luvchi reaksiya kuchlarini va ularning ixtiyoriy kesimlaridagi ichki kuchlarni faqat statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlash mumkin bo'lgan masalalar.

Statik aniqmas masalalar - reaksiya kuchlari va ichki kuchlarni statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlash mumkin bo'lmagan masalalar.

“SHakl o'zgarishi bilan bog'liq solishtirma potentsial energiya” nazariyasi - bunga ko'ra materiallarda chegaraviy kuchlanish holati paydo bo'lishiga shakl o'zgarishidan hosil bo'lgan solishtirma potentsial energiya sabab bo'ladi degan cheklanishga asoslangan nazariyadir.

CHO'zilish yoki siqilish - tekshirilayotgan sterjenlarning ko'ndalang kesimlarida oltita ichki kuch omillaridan faqatgina bitta bo'ylama kuch $N(z)$ ta'sir ko'rsatib, qolganlari esa nolga teng bo'lgandagi deformasiya.

Chidamlilik - materiallarning toliqishga qarshi tura olish xususiyati.

CHidamlilik chegarasi - sikllar soni cheklanmagan holda ko'p bo'lganida detalning toliqish emirilishiga sabab bo'lmaydigan sikl maksimal kuchlanishining eng katta qiymati.

CHiziqli kuchish – jismdan ajratilgan nuqtaning kuch qo'yilguncha va kuch qo'yilgandan keyingi holatlarini birlashtiruvchi vektor.

Foydalaniladigan asosiy darsliklar va o'quv qo'llanmalar ro'yxati

6. Ferdinand P. Veer., E. Russell Johnston, Jr., John T. De Wolf., David F. Mazurek. Mechanics of materials – USA 2015.-897 p.
7. Набиев А. Материаллар қаршилиги –Т.: Янги аср авлоди. 2008. -379 б.
8. Nabiev A. Xasanov S. Materiallar qarshiligi. Oliy o'quv yurtlari uchun o'quv qo'llanma. –T.: Fan, 2005. -380 b.
9. Xasanov S. M. Materiallar qarshiligidan masalalar echish. –T.: “O'zbekiston milliy ensiklopediyasi” Davlat ilmiy nashriyoti, 2014. -323 b.
10. Qoraboev X. T. Materiallar qarshiligi. –T.: “Fan va texnologiya”, 2007.

Qo'shimcha adabiyotlar

10. Мирзиёев Ш.М. Эркин ва фаровон, демократик Ўзбекистон давлатини биргаликда барпо этамиз. Президентининг лавозимига киришиш тантанали маросимида бағишланган Олий Мажлис палаталарининг қўшма мажлисидаги нутқи. –Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2016. -56 б.
11. Мирзиёев Ш.М. Қонун устиворлиги ва инсон манфаатларини Ўзбекистон Республикаси Конституцияси қабул қилинганининг 24 йиллигига бағишланган тантанали маросимдаги маъруза 2016 йил 7 декабрь. – Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2016. -48 б.
12. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажагимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга курашимиз. – Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2017. -488 б.
13. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида. Т.: 2017 йил 7 февраль, ПФ-4947-сонли Фармони.
14. Maxkamov T.X., Golovnina V.M. “Materiallar qarshiligi” fanidan tajriba ishlarini bajarish uchun uslubiy ko‘rsatma. –Т.: ToshDTU, 2006.
15. Maxkamov T.X., Golovnina V.M. “Materiallar qarshiligi” fanidan ichki kuch omillarining epyuralarini qurish bo‘yicha uslubiy ko‘rsatma. –Т.: ToshDTU, 2007.
16. Александров А.Б. и др. “Сопротивление материалов” М.: Высшая школа, 2001. -560 с.
17. Федосьев В.И. “Сопротивление материалов” – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. -592 с.
18. Агамиров Л.В. Сопротивление материалов, -М.: АСТ, Астрель 2003. - 255 с.

Internet saytlari

6. WWW.gov.uz – O‘zbekiston Respublikasi hukumat portali.
7. WWW.lex.uz – O‘zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma’lumotlari milliy bazasi.
8. WWW.ilm.uz.
9. WWW.ziyo.net.
10. WWW.Referat.uz