

## КІРІСПЕ

Металл конструкциялары – жас маманның конструктор ретінде ойлау қабілетін дамыттыру мен болашақ қызметін атқара алуы үшін, құрылыс-инженері мамандығын игеру үшін қажет пәндердің бірі.

Жүк көтергіш металл конструкциялардың негізгі атқарар функциясы - жүк әсер етіп тұрған жерден іргетасқа дейін жеткізу. Осы процесс кезінде металл конструкциялар элементтерінде әртүрлі ішкі күштер пайда болады.

Конструкциялар үшін – олардың түрлерін анықтап, соған шыдайтын қималарды тауып, сенімді металл конструкцияларды есептеп, құрау қажет.

Металл конструкциялары – олардың конструкциялық сұлбаларынан, дайындау технологиясынан және монтаждау әдістерінен тұрады. “Металл конструкция” пәні - көптеген техникалық пәндер жиынтығы. Металл конструкцияларының даму деңгейі - олардың халық шаруашылығына қажеттілігіне, техникалық мүмкіндікке, металлургияның дамуы, металды өңдеу, құрылыс техникасы мен ілімдерінің бүгінгі деңгейлеріне байланысты.

Біздің тәуелсіздікке қолы жеткен жас Қазақстан Республикасы экономика саласында көптеген табыстарға қолы жетті. 15 жылдай уақытта Қазақстан Республикасы біріккен ұлттар ұйымының толық мүшесі болып, көптеген мемлекеттер мен саяси қатынастар жасап отыр. Дұрыс ұстаған саясаты арқасында Қазақстан Республикасы ТМД елдер ортасында бірінші нарықтық қатынас орнатылған ел болып танылды. Сонымен қатар, Қазақстан Республикасы үшін металл конструкцияларының алатын орны ерекше. Қазақстанның алдыңғы қатарлы, өндірісі дамыған, ауыл шаруашылығы мол өнім өндіріп және оны өңдей алатын өндірістік мемлекеттер арасынан орын алуы үшін көптеген зауыттар мен өндіріс орындарын, гидротехникалық құрылыстарды салуы керек. Бұған тек металл конструкцияларын құрылыста көптеп пайдалану арқылы, Республика ерекшеліктерін ескере отырып, тиімді конструктивті шешімдерді іс жүзінде қолдану арқылы қол жеткізуге болады.

Қазіргі кезде, қазақ тілінде оқитын студент жастар орыс тілінде жазылған оқулықтар мен оқу құралдарын пайдалана даярланады, ал құрылыс мамандығы бойынша қазақ тілінде жазылған оқулықтар жоқтың қасы. Сол себепті ұсынылып отырған оқу құралы - қазақ тілінде оқитын жастар мен инженер мамандары үшін керекті құрал.

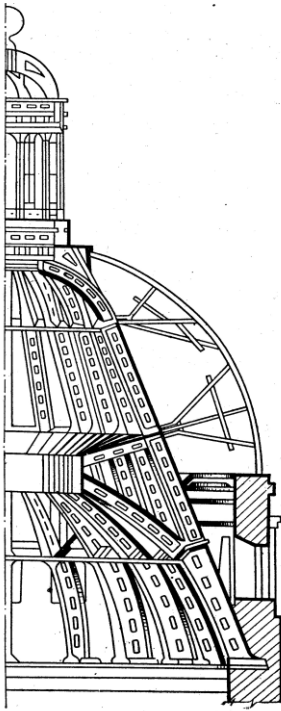
## ЖАЛПЫ МАҒЛУМАТТАР

### 1. Металл конструкцияларының даму тарихына қысқаша шолу

Металл конструкцияларының даму тарихы адамзат тарихымен тікелей байланысты. Алғашқы темір құралдар мен бірінші конструкциялар біздің эрамызға дейін пайда болған.

Темір конструкциялар христиан діни орталықтары – шіркеулер күмбездерде, кірпішпен қаланған күмбез тартпаларында қолданылған. XIII ғасырлар шамасында темірді созылуға жақсы жұмыс істейтінін сол заманғы құрылысшылар жақсы білген.

Мәскеу қаласындағы Василий Блаженный храмындағы тас төбені көтеріп тұрған металл конструкциялары өзінің ойлы конструктивті шешімімен көзге түседі. Бұл жерде элемент қималары олардың кернеулі жағдайларының түріне сәйкес қабылдануы таңданарлық жағдай.

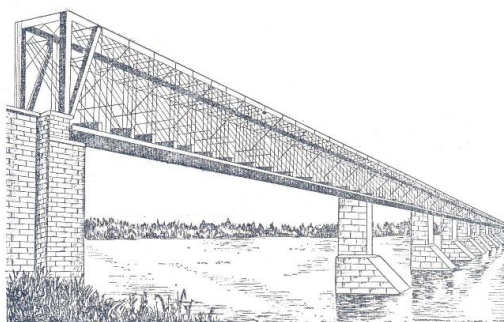
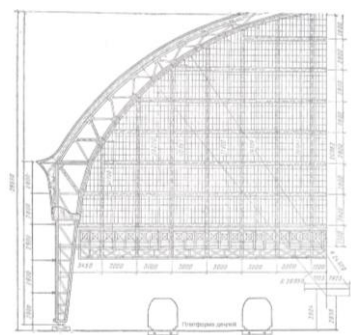


Сурет 1. Санкт-Петербургтегі Исақ шіркеуінің күмбезі

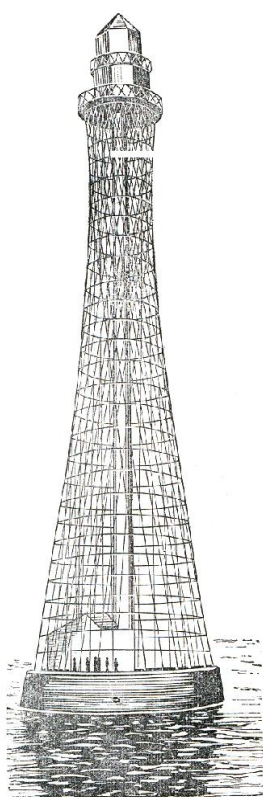
XVIII ғасырдан бастап шойын конструкциялар көптеп қолданыла бастады. Әлемде тұңғыш рет Санкт – Петербург қаласында (1784 ж.) шойын көпір салынды. Санкт – Петербург қаласында өте шебер жасалынған Исақ шіркеуінің күмбезі, 1850 жылдары Санкт – Петербург қаласында аралықтары 33 метрден 47 метрге дейін сегіз аралықты, сол кездегі жер жүзінде ең үлкен шойын көпір – Николай көпірі салынған.

XIX ғасырда өндірістің өте тез дамуына байланысты өндірістік ғимараттар салына бастады. Осы кезеңде металл конструкцияларын тойтарма шегемен біріктіру мен профильденген металл және прокатталған қаңылтыр алу игерілді. Осы кезге дейін қолданылған шойын конструкцияларды болат конструкциялар толығымен ауыстырды, әлемге әйгілі Эйфель мұнарасы салынды.

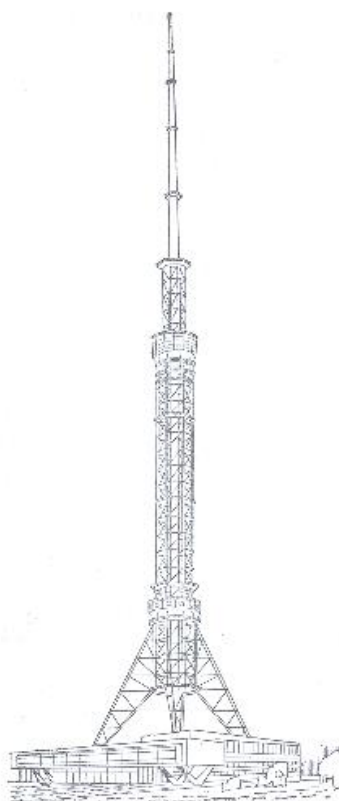
XX ғасырдың басынан металл конструкциялары өте тез дамып, бүгінгі күн деңгейіне дейін көтерілді. Өндірістік ғимараттарда көпірлі кранды ендік рамалар, кеңістіктегі конструкциялар, алдын-ала кернеуленген конструкциялар үлкен аралықты рамалары, аркалы конструкциялар, өте биік теле мұнаралары мен дінгектер салынды.



Сурет 2. Мәскеу қаласындағы Киев бекетінің шатыры  
 Сурет 3. Волга өзені арқылы өтетін Сызран көпірі  
 (1879 ж. Н.А. Белелюбский)



Сурет 4. Шухов  
 мұнара-маягі



Сурет 5. Биіктігі  
 392м телемұнара



Сурет 6. Мәскеудегі көрме павильонының күмбезі

1940 жылдан бастап металды біріктіру пісіру арқылы жүргізіліп отыр.

Гидротехникалық құрылыста ХХ ғасырда қарқынды жүрді. Су бөгеттер, олардағы гидротехникалық қақпалар, шлюз қақпалары металлды пайдаланып салынды.

Металл конструкцияларын жобалау, ғылыми зерттеулер жүргізу үшін ТМД елдері кеңістігінде көптеген институттар ашылып жұмыс істеді.

Металл конструкцияларының жақсы көрсеткіштері ретінде Мәскеу қаласындағы Олимпиада – 80 кезеңінде салынған ғимараттарды, Қазақстан Республикасы бойынша Байқоңырдағы ракеталарды ұстап тұратын, ұшар кезінде ашылатын металл конструкцияларын, Алматы қаласындағы биіктігі 360м телемұнараны, Астана, Қарағанды, Теміртау, Тараз және т.б. қалалардағы өндіріс алыптарының мұнаралары мен металл қаңқаларын айтуға болады.

Металл конструкцияларының ТМД елдерінде дамуына көп еңбек сіңірген ғалымдар - Н.С.Стрелецкий, Н.П.Мельников, Е.О.Патон секілді кісілерді атаймыз.

## **2. Металл конструкциялардың пайдалану облыстары мен түрлері**

Металл конструкциялары металдың аса қымбат, халық шаруашылығының бар салаларында қолданылатын болғандықтан құрылыста өте қажет кезінде ғана пайдаланылуы тиіс. Егер мүмкіндік болса, металл конструкциялары басқа конструкциялармен ауыстырылып отырылуы қажет. Бірақ та, қазіргі заманда нарықтық экономика өмірімізге өз заңдарын енгізе отырып, металл конструкциялардың пайдалану облыстарына, олардың түрлеріне әсер етіп, өз өзгерістерін енгізуі мүмкін.

Металл конструкцияларын сұлбаларына, пайдалану мақсаттарына байланысты сегіз түрге бөлуге болады.

### **Өндірістік ғимараттар**

Бір қабатты өндірістік ғимарат конструкциялары толық немесе аралас металл қаңқалы болып келеді. Өндірістік ғимараттардың толық металл қаңқалы болуы олардың ішінде жұмыс істейтін көпірлі крандардың жүк көтеру шамаларына, биіктіктеріне және ұстын қадымдарына байланысты. Мүмкін болған кезде аралас қаңқалы өндірістік ғимараттар салынады, бұл ғимараттардың ішінде жұмыс істейтін көпірлі кран шамасы аздау жүк көтереді. Өндірістік ғимараттардың қаңқалары металды өте көп қажет ететін сала болып саналады. Біздің елімізде өндірісті даму деңгейі алдыңғы қатарлы дамыған 50 ел қатарына жеткізу үшін өндірістік ғимараттарды көптеп салу керек.

### **Үлкен аралықты жабындар**

Бұл салаға қоғамдық ғимараттар (спорттық құрылымдар, көрмелер, театрлар және т.б.), өндірістік ғимараттар (ангарлар, эллингтер, ұшақ жинайтын құрылымдар, троллейбус, автобус парктері) кіреді.

Кейбір өндіріс салалары технология талаптары бойынша үлкен аралықты жабындарды қажет етеді, ал кейбір үлкен аралықты қоғамдық ғимараттарға көптеген эстетикалық талаптар қойылады.

### **Көпірлер**

Темір және авто жол бойында кездесетін терең шатқалдар мен өзендерден өту үшін көпірлер салынады. Көпірлерді тез және сапалы салу үшін металл конструкциялары қолданалады. Көпірлерде арқалықты, рамалы, арқалы, аспалы және т.б. конструктивтік жүйелер пайдаланылады.

### **Қаңылтыр конструкциялары**

Сұйық пен газдарды сақтау және тасымалдау үшін қаңылтыр конструкциялары қолданылады. Бұл жерде қаңылтыр жұқа болаттан немесе алюмин қорытпаларынан жасалынады. Қаңылтыр конструкциялары сусымалы заттардың қораптары, үлкен диаметрлі құбырлар, домна пештерінің кейбір конструкцияларында, химия мен мұнай өндірістерінде қолданылады.

### **Мұнара мен дінгектер**

Радио, теледидар, электр тарату жүйелеріде мұнара мен дінгектер пайдаланылады. Металдың бұл салада пайдаланылуы олардың монтаждалуын, тасымалданылуын тездетеді.

### **Көп қабатты ғимарат қаңқалары**

Үлкен қала құрылысы көп қабатты ғимаратсыз жүргізілуі қиын, қаладағы адам саны өскен сайын олардың жұмыс істейтін, тұратын ғимараттары көп қабатты болады. Ең биік ғимарат Тайванда салынды, оның биіктігі 508м.

### **Крандар мен басқа да жылжымалы конструкциялар**

Бұл конструкцияларға – көпірлі, мұнаралы, рамалы крандар, гидротехникалық қақпалар, шлюз қақпалары және т.б. жатады.

### **Басқа конструкциялар**

Атомдық электр станциялар конструкциялары, радиотелескоптар, радарлар және тағы басқа құралдар.

## **3. Металл конструкцияларының артықшылықтары мен кемшіліктері және оларға қойылатын талаптар**

*Металл конструкциялардың артықшылықтары:*

- Металл конструкциялардың сенімділігі. Металл конструкциялардың сенімділігі - металлдың изотроптық қасиетіне байланысты, металл конструкциялардың шын жұмыс істеуі мен есептеу кезеңдеріндегі айырмашылықтары аздықтан.
- Металл конструкциялардың жеңілділігі. Құрылыс конструкция материалдарының ішінде металл конструкциялары ең жеңілі болып саналады. Конструкциялардың жеңілділігінің сипаттамасы ретінде материалдардың тығыздығының есепті қарсыласуына қатынасы қабылданады:  $C = \frac{\rho}{R}$ .  $C$  – мәні кішірейген сайын конструкциялар жеңілдей түседі. Конструкция материалдарын салыстыру үшін олардың  $C$  - мәнін тауып салыстыру қажет. Аз көміртекті болаттар үшін -  $C = 3,7 \times 10^{-4} \frac{1}{м}$ ; алюмин қорытпасы (Д-16Т) үшін -  $C = 1,1 \times 10^{-4} \frac{1}{м}$ ; класы В 30 бетон үшін  $C = 1,85 \times 10^{-3} \frac{1}{м}$ ; ағаш үшін -  $C = 5,4 \times 10^{-4} \frac{1}{м}$ .
- Металл конструкциялардың индустриалдылығы. Металл конструкциялары негізінен зауыт жағдайында даярланады. Зауыттар қазіргі кездегі құрал - жабдықтармен жабдықталған. Металл конструкцияларды монтаждауда техниканы қолдану арқылы жүргізіледі.
- Металл конструкцияларының сұйық, газ өткізбеушілігі. Металл жоғары тығыздылығымен белгілі, сол себепті сұйық, газдарды өткізбейді. Бұл қасиеті резервуарлар мен газгольдерлер және т.б. қаңылтыр конструкциялар салу үшін қолданылады.

### **Металл конструкциялардың кемшіліктері:**

- *Коррозия.* Болат атмосфера, агрессивті газдардың әсерінен тотықтанады. Тотықтану түбінде болат конструкциялардың көтеру мүмкіндігін азайтады, қирауына алып келеді. Өте агрессивті ортада бұл процесс тез екі-үш жыл шамасында өтуі мүмкін. Алюмин қорытпалары да коррозияға ұшырауы мүмкін. Шойын басқа металлдарға қарағанда коррозияға шыдамдылау. Металл конструкцияларын ұзақ уақыт пайдалану үшін олардың бетін сырлармен, лактармен, басқа металлдармен жабу,

тиімді конструктивтік сұлбаларды қабылдау, құрамына әртүрлі легірлейтін элементтер қосу арқылы тотықбайтын болат алу секілді шаралар қолданылады.

- Металл конструкциялардың отқа аз төзімділігі. Болаттың температура  $+200^{\circ}\text{C}$  жеткен кезде серпімділік модулі азаяды, ал  $t = +600^{\circ}\text{C}$  жеткен кезінде серпімділігі жойылып, созылымдылық жағдайға көшеді, ал алюмин қорытпалары созылымдылық жағдайға  $t = +300^{\circ}\text{C}$  жеткен кезінде-ақ ауысады.

#### 4. Металл конструкцияларға қойылатын талаптар

Сапалы конструкциялар алу үшін металл конструкцияларын жобалау кезеңінде келесі талаптар қойылады:

- *Пайдалану жағдайы.* Металл конструкциялары - пайдалану жағдайын қамтамасыз етуі тиіс, құрылымдар үшін қолданылатын материалдар мен конструктивтік сұлбалар осы негізгі талапқа сәйкес қабылданады.

- *Металды үнемдеу.* Металдың халық шаруашылығының барлық саласында пайдаланылатындықтан, бағасының қымбат болғандағынан металды үнемді пайдалану қажет.

- *Жеңіл тасымалдануы.* Металл конструкциялары зауыттарда даярланатын болғандықтан олар құрылыс алаңына дейін көлік түрлерімен бүтіндей, немесе бөлек-бөлек жеткізілетіндей болуы керек.

- *Даярлануы.* Конструкцияларды жобалау кезінде олардың еңбек шығынын аз қажет ететін, техникалық соңғы нәтижелерді қолдана отырып даярлануын ескеру керек.

- *Тез монтаждау.* Металл конструкциялар қолда - бар құрал-жабдықтарды қолдана, ең аз уақытта жинауға мүмкіндік беруі қажет.

- *Ұзақ уақыт пайдалану.* Металл конструкциялардың пайдалану уақыты - физикалық және моральдық тозуына байланысты. Физикалық тозуы - көбіне коррозияға ұшырауына, ал моральдық тозуы - пайдалану жағдайының өзгеруіне байланысты.

- *Эстетикалық талғамға сәйкестілігі.* Металл конструкциялары қай жерде қолданылуына қарамай гармоникалық сұлбалы болуы қажет. Металл конструкциялы ғимараттар мен құрылымдар - әсем көрінуі шарт.

Жоғарыдағы келтірілген талаптар кез келген сапалы конструкцияларға қойылады, ал оған ғылым мен өмір тәжірибесін ұштастыра отырып қол жеткізуге болады.

Металл конструкцияларының жобалануының негізгі үш принциптері бар:

- металл шығынын азайту;
- еңбек шығынын азайту және оның өнімділігін арттыру;
- монтаждау уақытын кеміту.

## **Металл конструкцияларын жобалауды ұйымдастыру**

Жобалау бір немесе екі сатылы болып орындалады:

- бір сатылы - жұмысшы жоба (типті жобамен салынатын, техникалық күрделі емес ғимараттар мен құрылымдар үшін);
  - екі сатылы - жоба мен жұмыс құжаттары (басқа құрылыстар үшін).
- Жобалаудың саты саны тапсырушының жобалауға арнаған тапсармасында көрсетіледі.

Жобалау сатысында: архитектуралық құрылыс шешімдері негізделеді мен қысқаша сипаттамасы; Металл конструкцияларды қолдану тиімділіктері мен құрылымдардың конструктивтік сұлбалары анықталады. Осы сатыда көтергіш, қорғаныш конструкциялардың конструктивтік сұлбалары жоспарлары, керекті қималарының сызбалары орындалады.

Жұмыс құжаттарында металл конструкциялардың жұмыс сызбалары МК (металл конструкциялары) және металл конструкцияларының сызбалары МКБ (металл конструкцияларының бөлшектері) келтіріледі. МК сызбалары жобалау мекемелерінде бекітілген жоба негізінде орындалады. МК жұмыс сызбаларында жобадағы металл конструкцияларды жинақтау, даярлау, тасымалдау проблемалары мен архитектуралық құрылыс және тағы да басқа бөлімдеріне сәйкестендіру шешіледі.

МК сызбаларында - түсіндірме жазбалар, жүктер жайындағы мағлұматтар статикалық, керек болса динамикалық есептеулер, жалпы жинақтау сызбалары, конструкция бөліктері орналастыру сұлбалары (элементтер кестесімен қоса), конструкциялардың негізгі жүйелерінің есептелуі мен сызбалары және металл қималарының арнайы кестесі келтіріледі.

МК сызбалары негізінде металл конструкциялар бөлшектерінің сызбалары даярланып қажетті металға сұраныс беріледі. МКБ - металл конструкцияларын даярлайтын зауыттың конструкциялық бюросында, зауыттың технологиялық ерекшеліктері ескеріп орындалады.

### **1. Металл конструкциялар негіздері**

#### **1.1 Құрылыс металл конструкциялары материалдарының жұмыс істеуі және қасиеттері**

##### **1.1.1 Болаттар және алюмин қорытпалары**

### **Болаттар**

Жалпы мағлұматтар. Болат – темірдің көміртегімен, басқа легірлейтін элементтермен қорытпасы.

Болаттар механикалық қасиеттеріне сәйкес үш топқа бөлінеді:

- **беріктігі қалыптағыдай;**
- **беріктігі жоғары;**
- **беріктігі аса жоғары.**

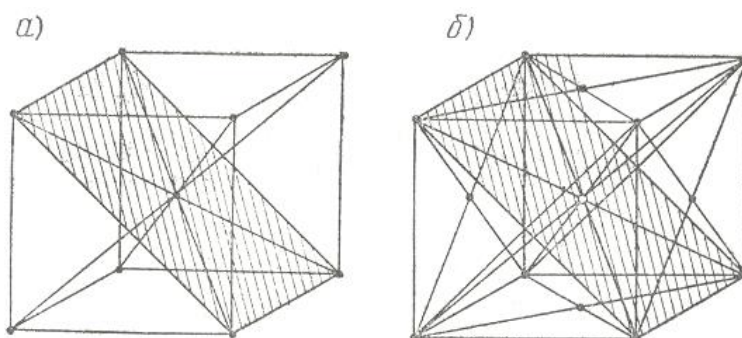


Болаттың механикалық қасиеттері олардың химиялық құрамына, термиялық өңдеу түріне, пісіруге жарамдылығы және прокаттау технологиясына байланысты.

Болат негізінен ферриттен тұрады. Феррит - беріктігі аздау, өте созылғыш. Болат беріктігін арттыру үшін ферритке көміртегі, марганец, кремний, ванадий, хром т.б. элементтер қосылып легірленеді және термиялық жолмен өңделеді.

Беріктігі қалыптағыдай (аз көміртекті) болат құрылымы.

Таза темір  $1539^{\circ}\text{C}$  балқиды. Температура  $1539^{\circ}\text{C}$  төмен түсе бастағанда кристалдану процесі басталады – сөйтіп көлемді орталықтандырылған кубтық кристалл торлы  $\delta$ -темір түзіледі (сурет 7а).



Сурет 7. Атомдық тор

Температура  $1400^{\circ}\text{C}$  төмендей бастағанда  $\delta$ -темірден қабырға бойынша орталықтандырылған кубтық торлы кристалл  $\gamma$ -темір түзіледі (сурет 7). Температура  $910^{\circ}\text{C}$  төмендегенде  $\gamma$ -темірден қайтадан көлем бойынша орталықтандырылған кристалл  $\alpha$  темір түзіледі. Осы құрылым температура нөлден төмен түскенде де сақталады. Суыған кезде көміртегінің  $\gamma$  темірдегі ерітіндісі – «аустенит» деп аталады. Қабырға бойынша орталықтандырылған кубтың диагональдары қиылысқан жерінде көміртегі атомы орналасады. Температура  $910^{\circ}\text{C}$  төмендегенде аустениттен көміртегі бөлініп шығып  $\alpha$  темірмен қорытпа түзейді, бірақта көміртегі  $\alpha$  темір аз ериді – сол себепті феррит құрамында көміртегі аз кездеседі. Аустениттен феррит бөлінген сайын, көміртегі мөлшері көбейе түседі, сөйтіп ( $723^{\circ}\text{C}$ ) перлит түзейді. Перлит – феррит пен темір карбиді ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) қабықшаларының араласқан құрамы. Сонымен, үй температурасына дейін суыған болат екі құрамнан – цементит пен ферриттен тұрады. Феррит – өте жұмсақ, беріктігі аз, ал цементит өте қатты, берік және мортсынғыш. Перлит сипаттамалары феррит және цементиттердің орташа сипаттамаларындай. Сапалы болат майда түйіршікті болады.

Аз легірленген болаттар құрылымы аз көміртекті болаттар тәрізді.

## **Легірлеу үшін пайдаланылатын негізгі химиялық элементтер**

Көміртегі (У), болаттың беріктігін арттырады, созылымдылығы мен пісіруге жарамдылығын азайтады, сол себепті көміртегі болат құрамында 0,22% -тен аспауы керек.

Кремний (С), феррит құрамында қатты ерітіндіден тұрады, олардың беріктігін арттырады, сонымен қатар пісіруге жарамдылығы мен коррозияға төзімділігін төмендетеді.

Алюминий (Ю), болат құрамында ферритпен қатты ерітінді түзей кіреді және де әртүрлі нитридтер мен карбидтер түзейді. Болат құрамын жақсы қышқылдансыздырады. Фосфордың нашар әсерін әлсіретеді, болаттың ұрғандағы тұтқырлығын арттырады.

Марганец (Г), ферритте әрі цементитте ериді, болаттың беріктігі мен ұрғандағы тұтқырлығын арттырады. Марганец күкіртпен қосылып, оның болат сапасына жаман әсерін әлсіретеді. Аз көміртекті болат құрамында марганец 0,64% -дан, аз легіріленген болат құрамында 1,5% - тен артпауы тиіс, егер бұл көрсеткіштерден артса, болаттың мортсынғыш қасиеттері артып кетеді.

Мыс (Д), болаттың беріктігі мен коррозияға төзімділігін арттырады. Мыс көбірек қосылып кетсе ( $>0,7\%$ ) болат табиғи қартаюы мүмкін.

Молибден (М), бор (Р) аустениттің орнықтылығын қамтамасыз етеді.

Азот (А) байланыспаған кезінде болаттың қартаюына, төменгі температурада мортсынғыштығына әсер етеді, сол себепті бұндай азот 0,008%-тен аспауы қажет.

Азот алюминий, ванадий, титан және ниобиймен химиялық байланысқан болса нитридтер түзеп, легірлеуші элементке айналады, сөйтіп болат түйіршіктерін майдалап механикалық қасиеттерін жақсартады.

Кейбір легірлейтін металлдар: хром (Х), ванадий (Ф), молибден (М), титан (Т) ферритте ериді; кей кезде кристаллдың тордағы темір атомын ауыстыра алады, сөйтіп болаттың механикалық қасиеттерін жақсартады.

### **Зиянды қоспалар**

Болаттың зиянды қоспаларына фосфор мен күкірт жатады. Фосфор болаттың төменгі температурадағы мортсынғыштығын арттырады, сондықтан ол 0,04% -тен артпауы тиіс. Күкірт болаттың жоғары температурадағы мортсынғыштығын арттырады, сондықтан ол 0,05% -тен артпауы керек.

### **Термиялық өңдеулер**

Болаттың беріктігін, өзге де қасиеттерін жақсарту үшін легірлеуден басқа термиялық өңдеулер де пайдаланылады.

Термиялық өңдеулердің ең оңай түрі – қалыптастыру (нормальдау). Ол үшін болат аустенит түзелетін температураға дейін қыздырылып, ауада суытылады. Бұл өңдеуден өткен болат құрамы жақсарады, ішкі кернеулері азаяды, беріктігі, ұрғандағы тұтқырлығы артады.

**Суару.** Бұл үшін болат фазалық өзгерістер басталатындай қыздырылып тез суытылады. Суыған аустениттен көміртегі бөлініп шығып, ферритте қатты ерітінді құрап «бейнит» немесе «мартенсит» деген құрылымдар түзейді. Суару болат беріктігін, мортсынғыштығын арттырып, созылымдылығын төмендетеді.

**Босату.** Бұл үшін болат 723°C -ге дейін қыздырылып, белгілі бір уақытқа дейін ұсталып, ауаның әсері жоқ жерде жайлап суытылады. Босату болаттың ішкі кернеулерін азайтып, түйіршіктерін майдалайды.

**Болаттың қартаюуы.** Болат құрылымының өзгеруі ұзақ уақытқа созылатын болғандықтан ол - болаттың «қартаюуы» деп аталады.

*Болаттың қартаюуына:*

а) механикалық әсерлер және созылымдылық деформациялар (механикалық қартаюу);

б) температураның өзгеруінен компоненттерінің еруі диффузия жылдамдығының өсуі (физикалық-химиялық қартаюу). Болаттыздап қыздырғанда (150-200°C) қартаюу жылдамдығы артады. Болатты алдымен созып, содан кейін қыздырса ол тез қартаяды (жасанды қартаюу). Болаттың «қартаюуы» динамикалық беріктігін төмендетіп, мортсынғыштығын арттыратын болғандықтан - нашар қасиет болып саналады.

Металл конструкцияларына қолданылатын болаттар екі түрлі әдістермен - мартенді пештерде және оттегімен үстінен үрлейтін конверторларда балқытып алынады. Бұл болаттардың сапалары бірдей. Болаттар қышқылдансыздыру дәрежелері бойынша *қайнаған, жартылай жайлы, жайлы* болып бөлінеді.

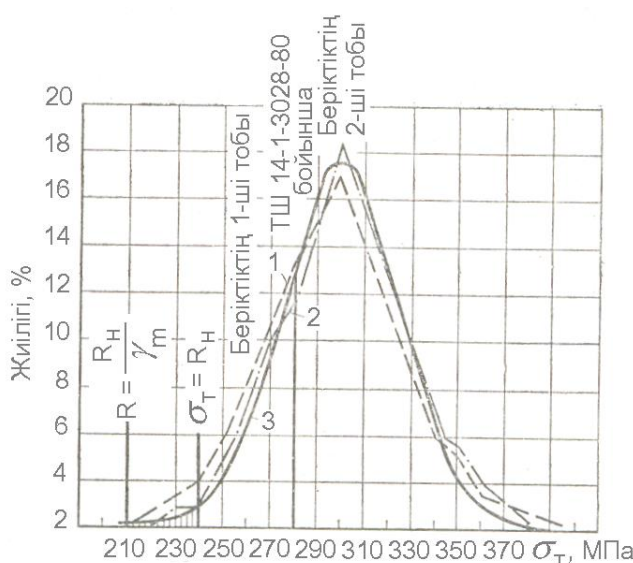
Балқыған болатқа ешнәрсе қоспай қалыпқа құйған кезде, құрамында бар газдар мен сұйықтар бөлінеді. Сол себепті бұл қайнаған тәрізді құрылымды болаттар қайнаған болаттар деп аталады. Болат құрамы біркелкі болмай газдар мен ақаулар кездеседі, механикалық қасиеттері де әртүрлі болады. Құйманың жоғарғы жағында зиянды қоспалар газдар мен ақаулар көптеп кездесетін болғандықтан осы жағынан 5% кесіліп, қайтадан балқытуға жіберіледі. Қайнаған болаттың мортсынғыштығы артып, қартаюуға қарсыласуы кемиді.

Аз көміртекті болаттардың сапасын арттыру үшін балқыған болатқа кремний (0,12...0,3%), алюминий (0,1%) қосып қышқылдансыздырылады, олар еріген оттегімен қосылып, оның болатқа зиянды әсерін кемітеді де, майда дисперсиялы фазаларда силикаттар мен алюминаттар түзеп, кристалдану орталықтарын көбейтеді. Сөйтіп майда түйіршікті сапалы болаттарды алуды қамтамасыз етеді. Қышқылдансыздырылған болаттар кристалдану процесі қалыпта басталып “қайнамайды”, сол себепті олар жайлы болаттар - деп аталады. Құйманың жоғарғы жағынан 15 %-ға жуығы кесіліп, қайта балқытуға жіберіледі. Жайлы болаттар статикалық және динамикалық жүктер әсер ететін конструкцияларда пайдаланылады.

Жайлы болаттар қайнаған болаттардан 12%-ға қымбат, сол себепті жартылай жайлы болаттар қортылады. Жартылай жайлы болаттар өз сипаттамаларымен қайнаған және жайлы болаттар арасында орын алады.

Прокаттау төменгі және жоғарғы температураларда жүргізіледі. Төменгі температурада прокатталған болат созыла тығыздалады, оның уақытша қарсыласуы мен аққыштық шегі артады, ал созымдылық қасиеттері мен ұрғандағы тұтқырлығы кемиді. Прокат қалындаған сайын оның механикалық қасиеттері төмендейді, сол себепті нормативті құжаттарда олардың мәні прокат қалыңдығына сәйкес беріледі.

Ст.3 болаттың аққыштық шектерінің берілгендері бойынша тұрғызылған жайылу қисығы және июші етуші қисығы суретте келтірілген (сурет 8).



Сурет 8. Ст3 маркалы болаттың аққыштық шегі статистикалық қисығының таралуы

Математикалық статистика әдістерімен есептеп анықталған мәні бойынша металдың механикалық қасиеттерінің ең төменгі шамаларын тауып, оның 95% қамтамасыз ететіндей стандарттар белгілеп, металлургия зауыттарында металлдарды жарамды және жарамсыз деп бөлуге болады.

### Аз көміртекті болаттар ( $\sigma_y < 29 \text{ kH/cm}^2$ )

Мемлекеттік стандарт бойынша (МЕСТ 27772) металлургия өндіріліп шығаратын аз көміртекті болаттардың құрылыс металл конструкцияларында Ст.245, Ст.275 болаттар қолданылады. Аз көміртекті болаттар жақсы пісіріледі, зауыттан қайнаған, жайлы және жартылай жайлы етіп шығарылады. Өндіріске үш топқа бөлініп жеткізіледі.

А - механикалық қасиеттері бойынша;

Б - химиялық құрамы бойынша;  
 В - механикалық қасиеттері мен химиялық құрамы бойынша.  
 Құрылыста В тобымен жеткізілген болаттар пайдаланылады.

Кесте 1.

Аз көміртекті болаттар

| МЕСТ 27 772 бойынша болаттар | Бұрынғы болат маркалары   | МЕСТ немесе ТШ                               |
|------------------------------|---|--|
| С 235                        | Ст3кп2 Ст3кп2 - 1   | МЕСТ 380<br>МЕСТ 14637<br>ТШ 14 - 1 - 3023   |
| С 245                        | Ст3пс6 Жазық болат қалыңдығы $\leq 20$ мм Фасонды - $\leq 30$ мм Ст3пс6 - 1                               | МЕСТ 380<br>МЕСТ 14637<br>ТШ 14 - 1 - 3023   |
| С 255                        | Ст3сп5, Ст3Гпс5, Ст3пс6 Жазық болат, қалыңдығы 20 - дан 40мм, Фасонды - $> 30$ мм Ст3сп5 - 1, Ст3Гпс5 - 1 | МЕСТ 380,<br>МЕСТ 14 637<br>ТШ 14 - 1 - 3023 |
| С 275                        | Ст3пс6 - 2  | ТШ14 - 1 - 3023                              |
| С 285                        | Ст3сп5 - 2 Ст3пс5 - 2   | ТШ 14 - 1 - 3023                             |

Болат маркалары мемлекеттік стандарт бойынша келесі түрде белгіленеді. Марканың алдында болаттың өндіріске жеткізілетін тобы, содан кейін маркасы, ары қарай қышқылдансыздыру дәрежесі және ең соңында категориясы келтіріледі.

**Беріктігі жоғары болаттар**  $(29 \text{ kH/cm}^2 \leq \sigma_y \leq 40 \text{ kH/cm}^2)$

Кесте 2.

Беріктігі жоғары болаттар

| МЕСТ 27 772 бойынша болаттар | Бұрынғы болат маркалары   | МЕСТ немесе ТШ |
|------------------------------|---|----------------|
| 1                            | 2   | 3              |
| С 345,<br>С 345Т             | 09Г2 09Г2С 14Г2 Жазық фасонды прокат қалыңдығы $t < 20$ мм<br>15ХСНД Жазық прокат прокат қалың-дығы $t < 10$ мм Фасонды - $t < 20$ мм | МЕСТ 19 281    |

| 1             | 2  | 3                               |
|---------------|--|---------------------------------|
|               | 12Г2Сгр.1  | ТШ 14 - 1 – 4323                |
|               | 09Г2гр.1, 09Г2гр.2, 09Г2Сгр.1,<br>14Г2гр.1 Фасонды $t < 20$ мм   | ТШ14 - 1 – 3023                 |
| С 345         | 10ХНДП   | МЕСТ 19 281 ТШ<br>14 - 1 - 1217 |
| С 375, С 375Т | 09Г2Сгр.2  | ТШ14 - 1 - 3023                 |
|               | 12Г2Сгр.2  | ТШ 14 - 1 - 4323                |
|               | 14Г2гр.1 (фасонды - $t > 20$ мм)<br>14Г2гр.1 (фасонды - $t < 20$ мм)   | ТШ14 - 1 - 3023                 |
|               | 14Г2 жазық және фасонды прокат<br>$t > 20$ мм 10Г2С1 15ХСНД (фасонды<br>прокат $t > 20$ мм, жазық $t > 10$ мм)<br>10ХСНД фасонды прокат барлық<br>қалыңдықтарлы, жазық - $t > 10$ мм | МЕСТ 19 281                     |
| С 390, С 390Т | 14Г2АФ 10Г29 термиялық<br>беріктелінген 10ХСНД жазық<br>прокат қалыңдығы $t > 10$ мм   | МЕСТ 19 281                     |
| С 390К        | 15Г2АФДпс  | МЕСТ 19 281                     |

Беріктігі жоғары аз легіріленген болаттарды марганец, кремний, хром, никель, мыс, ванадийді қосып алуға болады. Кейбір маркалы болаттар термиялық өңдеуден өтеді.

### Беріктігі аса жоғары болаттар ( $\sigma_y \geq 40 \text{ кН/см}^2$ )

Беріктігі аса жоғары болаттарды легірлеу және термиялық өңдеу арқылы алуға болады.

Кесте 3.

#### Беріктігі аса жоғары болаттар

| МЕСТ 27 772<br>бойынша болаттар | Бұрынғы болат маркалары                       | МЕСТ немесе ТШ   |
|---------------------------------|---|------------------|
| С 440                           | 16Г2АФ, 18Г2АФпс 15Г2СФ<br>термоберіктелінген | МЕСТ 19 281      |
| С 590                           | 12Г2СМФ                                       | ТШ14 - 1 - 1308  |
| С 590К                          | 12ГН2МФАЮ                                     | ТШ 14 - 1 - 1772 |

## Құрылыс металл конструкциялары үшін болат таңдау

Болаттар техникалық-экономикалық анализ негізінде варианттарды салыстыру арқылы таңдалады. Болаттар құрылыс конструкциялары үшін материалдардың жұмысына әсер ететін келесі параметрлерге байланысты қабылданады:

- конструкциялар пайдаланылатын, монтаждалатын ортаның төменгі температурасы;
- материалдар мен конструкцияларды динамикалық, тербететін және өзгеріп тұратын жүктер мен жүктеу ерекшеліктері;
- кернеулі жағдай түрлері (бір өсті созу немесе сығу, жазықтық немесе көлемді кернеулі жағдайлар) және пайда болған кернеу деңгейі (көп немесе аз жүктелген элементтер);
- бірігу аймағындағы материалдың қасиеттері кернеулердің шоғырлану дәрежелері, өзіндік кернеулердің деңгейлері, біріктіру әдістері, элементтерге пайдаланатын прокат қалыңдығы.

Материалдардың жұмыс ерекшеліктері бойынша конструкциялар төрт топқа бөлінеді (ҚРҚНжЕ 5.04 - 23 - 2002).

Бірінші топқа – аса қиын жағдайда жұмыс істейтін, динамикалық, тербететін немесе жылжымалы жүктер әсер ететін пісіріп біріктірілген конструкциялар (кран асты арқалықтары, эстакада элементтері, ферма түйін қаңылтырлары) жатады. Бұл топтағы конструкцияларда пайдаланылатын болаттарға аса жоғары талаптар қойылады.

Екінші топқа – статикалық жүк әсер ететін бір өсті және бір мағыналы екі өсті созатын кернеулер пайда болатын пісіріп біріктірілген конструкциялар (фермалар; рама қарылары; жабын арқалықтары; саты конструкциялары; транспорт галереяларының тіреулері; насос станциялары мен гидроэлектр станцияларының құбырлары; гидротехникалық қақпаның қосымша бөлшектері және созылатын, иіле-созылатын, иілетін элементтер), тағы да бірінші топқа жататын, бірақ пісіріп біріктірілмеген конструкциялар созатын кернеулер әсерінен морт сынуы мүмкін конструкциялар кіреді.

Үшінші топқа – статикалық жүк әсер ететін конструкциялар (ұстындар; тіреулер; негіз плиталары; жабын төсеніштерінің элементтері; техникалық жабдық тұратын конструкциялар; ұстындар арасындағы байланыстар; антеналық құрылым өзегі мен мұнара элементтері; жабын қарылары және басқа сығылатын, иіле-сығылатын элементтер), тағы да екінші топқа кіретін пісіріп біріктірілетін конструкциялар кіреді.

Төртінші топқа – ғимараттар мен құрылымдардың көмекші конструкциялары (үшінші топта көрсетілмеген байланыстар, фахверк элементтері; сатылар; қоршаулар және басқалар). Тағы да үшінші топқа кіретін пісіріп біріктірілмеген конструкциялар кіреді.

Құрылыс салынатын орынның климатына, топтарына сәйкес болат маркаларының түрлері құжатта (ҚРҚНжЕ 5.04 - 23 - 2002) келтірілген.

Гидротехникалық металл конструкциялары (гидротехникалық қақпа, шлюз қақпалары, т.б.) аса қиын жағдайларда жұмыс істейді, әсіресе

қақпалар ашылып жабылғанда судың гидродинамикалық әсерлері конструкциялардың төзідімділігін, беріктігін қажет етеді, сол себепті бұл конструкциялар бірінші топтағы конструкциялар қатарына жатады.

### Алюминий қорыпалары

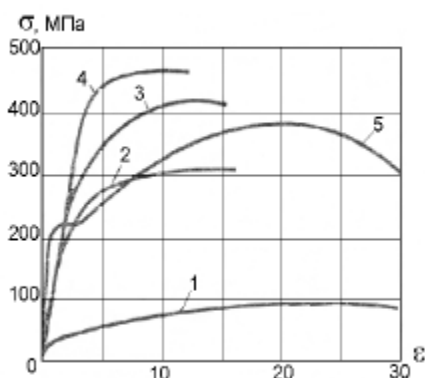
Алюминий тығыздығы -  $\rho = 2,7 \frac{m}{m^3}$  болатқа қарағанда үш есе жеңіл.

Бойлық серпімділік модулі  $E = 71\,000 \text{ МПа}$ , ал ығысу модулі  $G = 27\,000 \text{ МПа}$  болаттың сәйкес модульдарымен салыстырғанда үш есе аз. Алюминийдің созылу диаграммасында аққыштық жазықтығы жоқ (сурет 9). Алюминий өте созылғыш, үзілер кезінде салыстырмалы ұзаруы 40% - 50% жетеді, беріктігі төмен  $\sigma_s = 60 \dots 70 \text{ МПа}$ , ал шартты аққыштық шегі  $\sigma_{0,2} = 20 \dots 30 \text{ МПа}$ . Таза алюминий тез арада коррозияны тоқтататын тотық қабатымен жабылады. Беріктігі төмен болғандықтан таза алюминий құрылыс конструкцияларында сирек қолданылады. Алюминийдің беріктігін арттыру үшін магниймен, мыспен, кремниймен, мырышпен және де басқа элементтермен легіріледі. Легіріленген алюминийдің уақытша қарсыласуы құрамына байланысты, таза алюминийге қарағанда 2-5 есе жоғары, ал салыстырмалы ұзаруы 2-3 есе азаяды. Температура жоғарылаған сайын алюминийдің беріктігі азаяды, ал  $t > 300^\circ\text{C}$  артық болғанда нольге жақындайды (сурет 10).

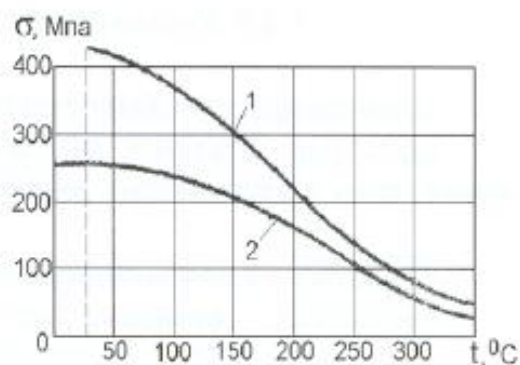
Көп компонентті алюмин қорыпалардың Al-Mg-Si; Al-Cu-Mg; Al-Mg-Zn термиялық өңдеуден өткеннен кейін, қартаю кезінде беріктігі артады, бұндай қорыпалар термиялық беріктігі артатын қорыпалар - деп аталады.

Беріктігі жоғары қорыпалардың (Al-Mg-Zn) термиялық өңдеуден және жасанды қартаюдан кейінгі уақытша қарсыласуы 400 МПа -дан асады, ал салыстырмалы ұзаруы 5 -10% жетеді.

Суықтай созылған алюминий қорыпаларының аққыштық шегі  $\sigma_{0,2} = 1,5 - 2$  есе артады, салыстырмалы ұзаруы кемиді.



Сурет 9. Алюминий қорыпаларының созылу диаграммалары 1-таза; 2-АМг6; 3-АВ-Т4; 4- Д16Т 5-Ст3 (болат)



Сурет 10. Температура өзгерісі кезіндегі Д16Т балкуының механикалық сипаттамасы 1-беріктік шегі; 2-аққыштық шегі



Алюминий қортпаларының коррозияға төзімділігі, қортпадағы легірлейтін компоненттерге, ортаның агрессивалық дәрежесіне байланысты. Алюминий қортпаларынан дайын бұйымдар зауыттардан белгілі бір стандарттарға сәйкес шығарылады. қортпа маркаларынан кейін ыстықтай тартылған (ГП); жұмсартылған (М); суықтай тартылған (Н); жартылай тартылған (1/2Н); суарылған және табиғи қартайған (Т); суарылған және жасанды (жоғарғы температурада біраз сағат бойы); қартайтылған (Т5) белгілері қойылады.

Алюминий қортпаларының маркалары өте көп, құрылыста солардың небәрі алтауы қолданылады:

- термиялық беріктелмейтін қортпалар: АД1М және АМцМ (қаңылтырлар); АМг22М және АМг221/2Н (қаңылтырлар); АМг22М (кұбырлар);
- термиялық беріктелетін қортпалар: АД31Т (профилдер мен құбырлар); АД31Т1 және АД31Т5 (профильдер); 1925ГП және 1925Т (профильдер мен құбырлар); 1925Т қортпан басқалары жақсы пісіріледі, ал аталған қортпа тойгарма шегемен біріктірілген конструкцияларда қолданылады.

Алюмин конструкциялары жеңіл, коррозия мен суыққа төзімді, магнитсіз, сыртқы түрі жақсы, ұзақ уақыт пайдаланылатындықтан құрылыстың көптеген жерінде қолдануға болады. Алюмин қортпаларының бағасы қымбат, сол құрылыс конструкцияларында көптеп қолдануды тежеп отыр.

### **1.1.2. Жүктелген болаттың жұмыс істеуі**

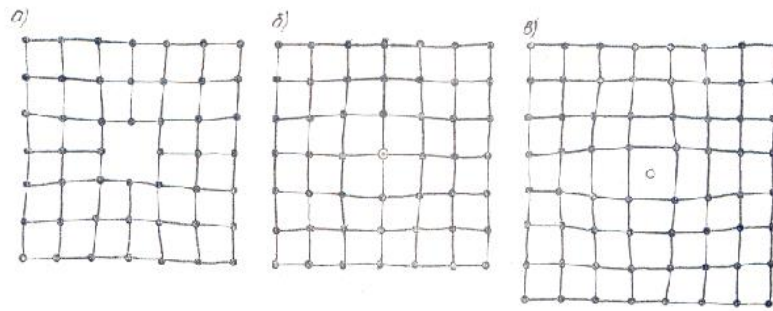
#### **Статикалық жүктелген болаттың жұмыс істеуі.**

Болаттың ферритті, перлитті болуы аз көміртекті болаттың жұмыс істеу сипаттамасын анықтайды.

#### **Темірдің монокристаллының жұмыс істеуі.**

Теориялық, тәжіибелі зерттеулердің көрсеткендері бойынша темірдің монокристалл бөліктерін бір-бірінен жұлғаннан ығыстыру оңай. Тәжірибелі зерттеулердің көрсетулері бойынша темір монокристалл бөлшектерінің ығысуы темір атомдары көп жазықтық бойына, үлкен диагональ арқылы өтеді.

Атомдардың өзара ілінісу күштерін біле тұра, кристалл бөліктерін ығыстыратын теориялық күшті анықтауға болады, бірақта іс жүзіндегі кристалл беріктігі одан жүз есеге жуық кем.

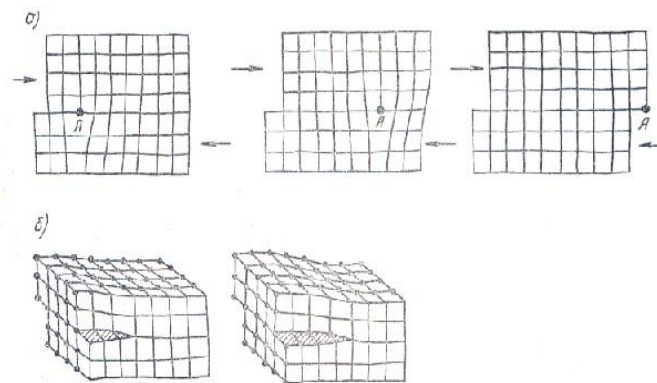


Сурет 11. Атомдық тор ақауларының түрлері  
 а) атомның болмауы; б) басқа атом; в) артық атом.

Теориялық және шын мәніндегі беріктіктерінің аса көп айырмашылықтары кристалдық құрылымдардың ақаулығымен түсіндіріледі. Кристалл торында төрт түрлі – нүктелік (сурет 11); сызықтық (сурет 12); беттік; көлемдік ақаулар кездеседі. Кристалл торындағы ақаулар төңірегінде құрылымдар өзгереді және ішкі серпімді кернеулер пайда болады.

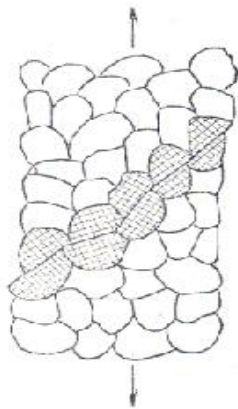
Егер идеалды кристалды ығыстыру үшін атомаралық ілінісу күшін жеңу керек болса, ал құрамында ақаулар бар кристалда ығысу аз күш әсерінен атомдар тобының жылжуы арқылы өтеді.

Темірдің микрокристаллының беріктігі дислокация тығыздығына байланысты. Дислокация саны өскен сайын металл беріктігі азаяды, бірақ дислокация саны өте көп болғанда олар бір-біріне кедергі жасап темір беріктігін арттырады.



Сурет 12. Дислокациялар  
 а – шеттік; б – винтті

Металл беріктігін екі жолмен өсіруге болады: біріншісі - кристалл құрылымындағы ақаулар санын азайтып, идеалды құрылымға жақындату; екіншісі - кристалл торларын бағыттап өзгерту және дислокация тығыздығын арттыру, мысалға - легірлеу, алдын-ала созымдылық деформациялар түзеу. т.б.

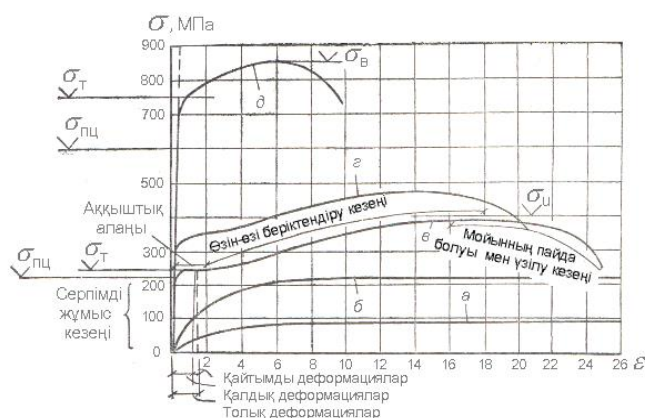


Сурет 13. Поликристаллдың ығысуы

### Темір поликристаллының жұмыс істеуі

Темір поликристаллындағы созылымдық қозғалыстар жанама кернеу әсерінен кристалл түйіршіктерінің ығысуы арқылы өтеді (сурет 13). Темір поликристаллы әртүрлі бағытта орналасқан кристаллдық торлы түйіршіктерден тұрады, сол себепті монокристаллға қарағанда ығысуы қиындау, беріктігі артықтау. Бейберекет орналасқан көп санды темір түйіршіктері, материалдың серпімді жұмыс істеу кезінде изотропты материал секілді жұмыс істейді. Созымдылық деформация дами бастағанда, бейберекет түйіршіктердің арасынан жанама кернеудің ең үлкен шамасы әсер ететін және түйіршіктердің ығысуына ыңғайлы жазықтықтар кездеседі. Осы жазықтықтар арқылы ең интенсивті созылымдылық ығысулар өтеді.

### Болаттың жұмыс істеуі

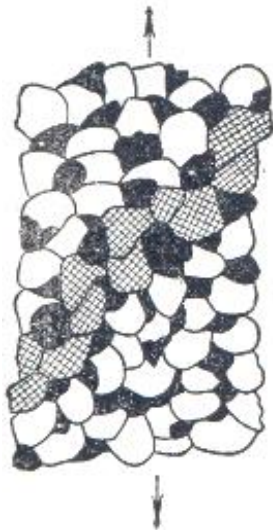


Сурет 14. Болаттың созылу диаграммасы

а – темір монокристаллы; б – темірдің поликристаллы; в - беріктігі кәдімгі болат; г - беріктігі жоғары болат; д - беріктігі аса жоғары болат

Болат құрылымдығы темір түйіршіктерінің (ферритті) ығысуына берік түйірлер - перлиттер қарсыласады, сол себепті болаттың (Ст.3) созылу диаграммасы суретте келтірілген (сурет 14). Бірінші сатыда созылған үлгіге кернеу мен деформация арасында тура пропорциялық қатынас сақталады, созылу деформациялары атом торларының серпімді өзгеруі арқылы пайда болады, бұл болаттың пропорция шегіне дейін жалғасады. Сыртқы күш әсері тоқтағанда сыналып тұрған үлгі өзінің бастапқы өлшемдеріне қайта оралады.

Жүктердің өсуіне сәйкес дислокациялар феррит түйіршіктерінің кейбіреулері ығыса бастайды, кернеу мен деформация дамиды, сөйтіп деформация кернеуге қарағанда тезірек өседі. Кернеулердің одан ары өсуі феррит түйіршіктерінің ығысу сызықтар санын өсіруге, сөйтіп сыналып тұрған үлгіге тұрақты кернеуде үлкен деформациялардың дамуына әкеп аққыштық жазықтығын тудырады. Болаттың бұл жұмыс істеу сатысындағы кернеу - «*аққыштық шегі*» деп аталады. Аққыштық жазықтың ұзындығы аз көміртекті және аз легіріленген болаттар үшін 1,5 - 2% жетеді. Деформациялардың дамуы серпімді және феррит түйіршіктерінде қайтпайтын ығысу арқылы жүреді. Сыртқы күш әсері тоқтаған кезде, үлгіні серпімді деформация бөлініп орнына келіп, созылымдылық деформация орнына келмей қалдық деформация құрайды. Деформацияның одан әрі өсуі үшін феррит түйіршіктеріндегі ығысулар перлит түйіршіктерін айналып, немесе перлит құрылымының әлсіз жерінен жарып өтеді, сөйтіп ортақ ығысу жазықтары пайда болады, ал бұл үшін кернеудің өсуі қажет.



Сурет 15. Жылжу сызығының өту орнындағы болаттың микроқұрылымы

Беріктігі жоғары және аса жоғары болаттар - құрамындағы карбидтер мен нитридтер феррит түйіршіктердің ішінде олардың араларында орналасып феррит түйіршіктеріндегі ығысулар қосымша қарсылықтар көрсетеді. Сөйтіп олардың беріктігін арттырады. Сыртқы күш әсерінен материалдың аққыштық жазықтығынан кейінгі қарсыласуы «*өзін - өзі беріктендіру сатысы*» - деп аталады. Бұл сатыда материал серпімді-созылымдылы жағдайда жұмыс істейді. Созу кезінде бойлық деформациялармен қатар, көлденең деформациялар да пайда болады, сөйтіп кернеу шамасы болаттың уақытша қарсыласуына жақындаған кезінде үлгінің қима ауданын кішірейтіп «*мойын*» түзейді. «*Мойын*» түзелген үлгіде кернеу шамасы тез өсіп, үлгі үзіледі.

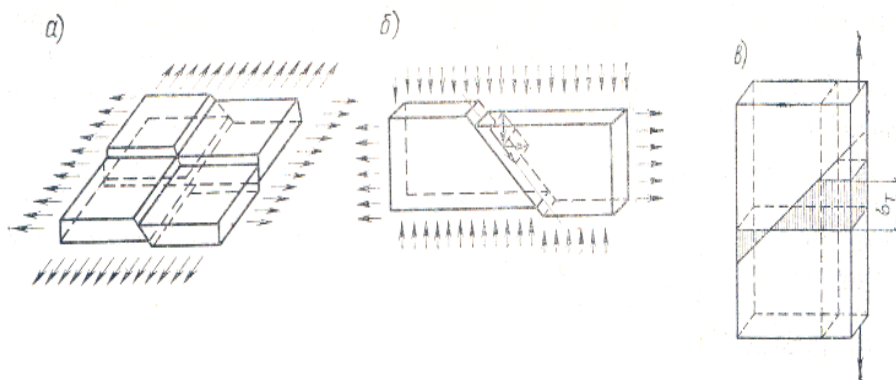
Ұзын аққыштық жазықтығы тек аз көміртекті болаттарға ғана тән, басқа беріктігі жоғары және аса жоғары болаттардың созылу диаграммасында аққыштық

жазықтығы кездеспейді. Бұл болаттар үшін - аққыштық шегі - 0,2% салыстырмалы деформацияға сәйкес кернеу мәніне тең етіп қабылданады.

Аз көміртекті болаттардың аққыштық шегінен уақытша қарсыласуына дейінгі жұмыс істеу қоры ( $\sigma_m/\sigma_g = 0,6$ ) өте үлкен, сол себепті іс жүзінде болаттың созылымдылық қасиеттерін пайдалануға болады, ал беріктігі аса жоғары болаттардың жұмыс істеу қоры ( $\sigma_m/\sigma_g \geq 0,8$ ) өте аз, сол себепті олардың созылымдылық қасиеттерін шектеу қажет.

Барлық прокатты болаттардың серпімділік сатыда жұмыс істегендегі серпімділік модулі  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа - тең.

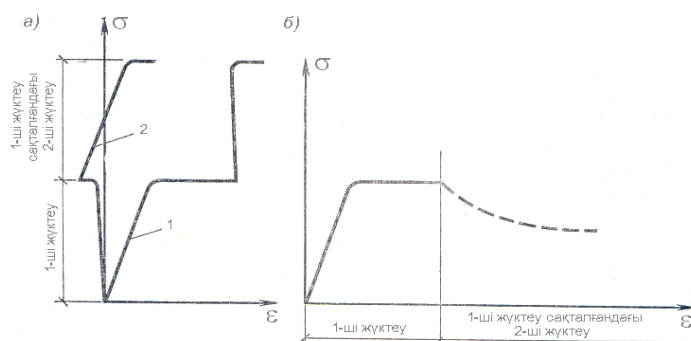
Екі өсті жүктеу кезінде металдың созылымдылық жағдайға өтуі екі кернеулердің мәндеріне, ара қатынастарына байланысты. Бір мағыналы екі өсті жүктеу кезінде ( $\sigma_1, \sigma_2$  тең болғанда) және кернеулер қимада бір қалыпты таралып өскенде созылымдылық деформациялар көлбеу жазықтықтар бойынша бір өсті кернеулі жағдайлар кезіндегідей дамиды (сурет 16 а). Егерде кернеулер ( $\sigma_1 < 0; \sigma_2 > 0$ ) екі бағытта әсер ететін болса, онда созылымдылық деформациялар сыналып жатқан үлгіге перпендикуляр жазықтықта бір өсті кернеулі кезінен ертерек пайда болады. Сығатын және созатын кернеулер модулдері тең болса ( $|\sigma_1| = |\sigma_2|$ ), созылымдылық деформациялар жанама кернеулер әсерінен (таза ығысу) пайда болады (сурет 16 б). Жанама кернеулер шамасы бір өсті созатын кернеулердің жартысына тең, бұл беріктіктің үшінші теориясына - ең үлкен жанама кернеу теориясына жатады.



Сурет 16. Әр түрлі кернеулер әсер еткендегі иілімділік деформациялар  
а) екіөстік жүктеу; б) бір бағытта созу, екінші бағытта сығу;  
в) кернеулердің бірқалыпсыз таралуы

Кернеулер бірқалыпты таралғанда үлгі бөліктерінің ығысуына серпімді аймақтар қарсыласады, бұл сәтте созылымдылық деформациялар еркін дами алмайтындықтан болаттың аққыштық шегінің шамасы өседі, эксперимент нәтижелері жазық қима туралы гипотезаның орындалатынын көрсетеді.

Күрделі жүктеу кезінде, әсіресе жүктеу бағыттары өзгеріп тұрса, немесе бір бағыттағы кернеулер екінші бағыттағы кернеулер арасындағы пропорциялар сақталмай өссе, материалдар созылымдылық сатыға жанама кернеулер теориясына сәйкес өтеді. Егерде сыналатын үлгідегі кернеулерді біреуі аққыштық шегіне жетсе, содан кейін екінші бағыттағы кернеу әсер ететін болса, созылымдылық деформациялар екінші кернеу аққыштық шегіне жеткеннен соң пайда болады, оған дейін материал серпімді сатыда жұмыс істейді. Бір бағыттағы созылымдылық деформация материалдың екінші бағытта жұмыс істеуіне әсер етпейді (сурет 17а). Егерде бір бағытта созылған үлгі аққыштық шегіне жеткеннен соң екінші бағытта сығылса, бұл бағытта созылымдылық деформациялар тезірек дамиды (сурет 17 б). Зерттеулердің көрсетуі бойынша, материалдың серпімді жағдайдан созылымдылық жағдайға өтуі үшін беріктік теориясы - энергетика теориясы бойынша жазуға болады.



Сурет 17. Күрделі жүктеу кезіндегі деформациялар дамуы.

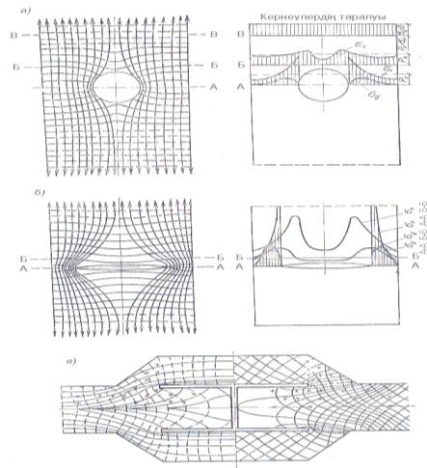
Екі бағытта ретті жүктеу кезіндегі  $\sigma - \epsilon$  диаграммасы  
 а) бір белгідегі кернеу; б) әр түрлі белгідегі кернеулер

Болаттың аққыштық шектері мен уақытша қарсыласулары қоршаған ортаның температураларына байланысты өзгереді. Теріс температурада олардың шамалары өзара жақындайды да, ал созылымдылық қасиеттері нашарлайды. Температура жоғарылағанда  $t = 100^\circ - 200^\circ\text{C}$  кезінде болаттың аққыштық шектері мен уақытша қарсыласулары өзгермейді. Температура  $t = 400^\circ - 500^\circ\text{C}$  жоғарылаған кезінде болаттың аққыштық шектері мен уақытша қарсыласулары көп кемиді, ал  $t = 600^\circ\text{C}$  - тең болғанда олардың шамасы нөлге жетіп, болат жүк көтеру мүмкіндігінен айрылады.

### Болаттың кернеу шоғырланғандағы жұмыс істеуі

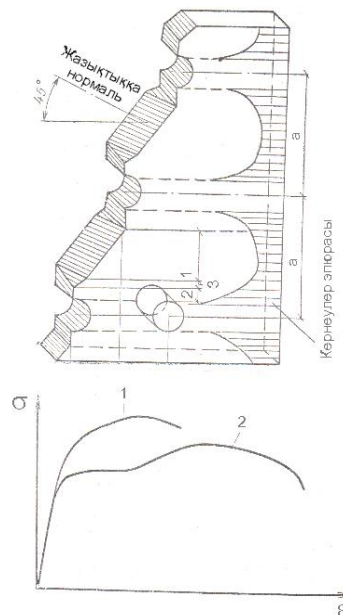
Қима өзгертін жерлерде күш сызықтары қисайып ақау маңында жиіленіп (сурет 18), кернеу шамасын көбейтеді.





Сурет 18. Элемент формасының күрт өзгертін жерлеріндегі кернеулердің траекториясы мен шоғырлануы: а - тесік маңында; б - жарықшақ тұсында; в – пісірілген біріктіруде

Қима өзгертін кернеу шоғырланатын жердегі кернеудің ең үлкен шамасын, бір қалыпты жайылған кернеу шамасына қатынасы «шоғырлану коэффициенті» - деп атайды. Дөңгелек және орталай ойықтары бар қималарда шоғырлану коэффициенті 2-3-ке тең, ал тік тесігі бар қималарда күш сызықтары қатты қоюланады, сөйтіп шоғырлану коэффициенті 6-9-ға дейін өседі. Кернеу шоғырланған бұйымдарда кернеулі жағдай аса күрделі. Металл екі аймаққа бөлінеді: бірінші - кернеулер тез өзгертін аймақ (сурет 19); екінші - кернеулер бірқалыпты таралатын аймақ.



Сурет 19. Саңлаулы бөліктің қирауы жоғарыда - кернеулердің таралуы төменде – болаттың жұмыс диаграммасы: а – жылжу кезіндегі; б – үзілу кезіндегі

Бірінші аймақта ығысу деформациялары пайда болмайды, өйткені ең үлкен кернеулер қасындағы аз кернеуленген бөлімдері созылымдылық деформациялардың дамуына кедергі жасайды, сөйтіп металл күш әсер ететін бағытқа перпендикуляр жазықтықта үзілуі арқылы беріктігін жоғалтады. Рентгенді анализдің көрсетуі бойынша болаттың үзілген жерінде созылымдылық деформациялардың бірі тұрады. Сол себепті бұл үзілу «техникалық үзілу» – деп аталады. Бұл үзілу кезінде, металл беріктігі монокристалдың үзілу беріктігінен кем, ал ығысу беріктігінен артық.

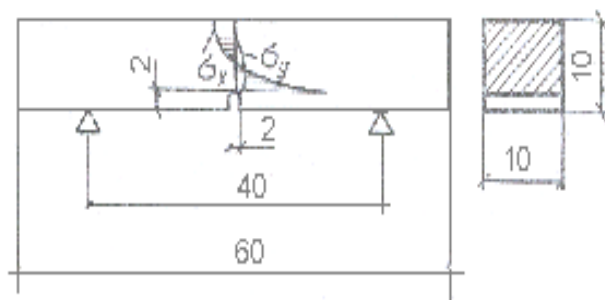
Кернеу шоғырланған кезде металл үлгілерінде өте қатты материал секілді көрініп, сыртқы әсерге кедергісі артады. Бұл қасиеттер металда жарықшақ тудырады.

Статикалық жүктеу қалыптағыдай температурада өтсе, кернеудің шоғырлануы бұйымдардың көтеру мүмкіндігіне көп әсер ете қоймайды. Сол себепті металл конструкцияларының элементтерінің беріктігін есептегенде, кернеудің шоғырлануы ескерілмейді. Ақаусыз қималы элементтердің беріктігі температураның белгілі бір шамаға дейін төмендегенде артады да, одан кейін кемиді.

Ал легіріленген термиялық жолмен беріктелген болаттарды сынағанда, аз көміртекті болаттарға қарағанда беріктірек. Кернеу шоғырланғанда болат төменгі температураларда морт сынуы мүмкін.

### Болаттың ұрғандағы тұтқырлығы

Металдың мортсынғыштығы мен кернеулердің шоғырлануға сезімталдығы - ұрғандағы тұтқырлығын сынап - кесегі бар бұйымды қирататын маятникті балғаның жұмысын табу арқылы анықталады (сурет 20).

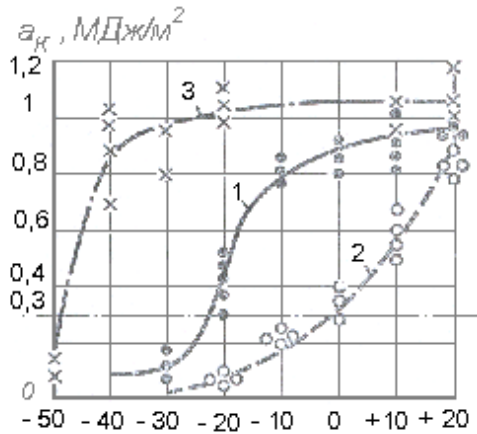


Сурет 20. Үлгіні ұрғандағы тұтқырлыққа сынау сұлбасы

Бұйымның кесін ұшында ең үлкен кернеу пайда болады, сөйтіп ұрған кезде металдың мортсынғыштығын арттырады. Сынау кезінде алынған нәтижелерді салыстыра алу үшін стандартты үлгілерді сынау керек.

Болаттың ұрғандағы тұтқырлығы  $0,3 \text{ МДж/м}^2$  төмендейтін температура суыну шегі ретінде қабылданады (сурет 21).



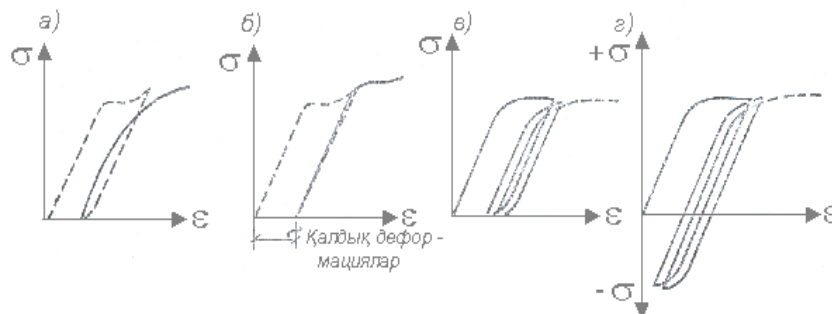


Сурет 21. Болаттың ұрғандағы тұтқырлығы:  
1 – Ст3сп; 2 – Ст3кп; 3 – 10Г2С1

Қартайған металлдың ұрғандағы тұтқырлығы тез төмендейді, сол себепті металлдың ұрғандағы тұтқырлығы оларды алдын-ала жасанды қартайтып барып анықталады. Болаттардың стандарттарында ұрғандағы тұтқырлығының ең төменгі мәндері келтіріледі.

### Болат пен алюмин қортпалардың жүк қайталана әсер еткенде жүкке жұмыс істеуі

Материалдар серпімді сатыда жұмыс істегенде жүктердің қайталана әсер етуі, серпімді деформациялар қайта орнына келетін болғандықтан, ешқандай өзгерістер тудырмайды. Серпімді-созылымдылық сатыда жұмыс істейтін материалдарға жүк қайталана әсер етсе, олардағы созылымдылық деформациялар ұлғаяды, металл құрамында орнына келмейтін өзгерістер туып, дислокация саны артады (сурет 22). Материал ұзақ уақыт демалғаннан кейін жүктелсе, олардың серпімді қасиеттері орнына келеді және алдыңғы цикл деңгейіне жетеді. Материалдың серпімді қасиеттерінің өсуі - созыла тығыздалу - деп аталады.



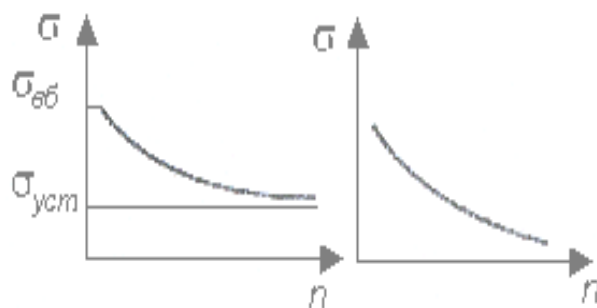
Сурет 22. Болаттың қайталана әсер ететін жүктерге жұмыс істеуі кезіндегі деформация диаграммасы:  
а- үздіксіз; б - үзіліспен (демалыстан кейін); в - бірмәнді көп қайталанатын;  
г - әртүрлі мәнді көп қайталанатын

«Созыла тығыздалу» металлдың қартаюуы мен атом кристалл торларының өзгеруі мен және олардың деформацияланған жағдайында бекітуіне байланысты.

Екінші рет жүктелген материал серпімді материал секілді жұмыс істейді, бірақ та қайтпайтын қалдық деформациялар әсерінен ұзаруы бірінші жүктегеннен азаяды.

Бұл құбылыс алюмин қортпалары мен темір бетон конструкцияларының арматураларының беріктігін арттыру үшін қолданылады, ал болат конструкциялар үшін олардың мортсынғыштығын арттыратын болғандықтан пайдаланылмайды.

Жүктеу тоқтамай қайталана әсер еткенде, металлда «шаршау» құбылысы кездеседі. «Шаршау» кезінде металлдың беріктігі төмендеп белгілі бір шамаға ұмтылады. Егер кернеу бұл шамадан азырақ болса, онда болат өз беріктігін жоғалтпайды (сурет 23). Кернеудің бұл шамасы болаттың «шаршау шегі» («төзімділік шегі») - деп аталады.



Сурет 23. Жүктеу саны мен кернеулеу арасындағы байланысы:

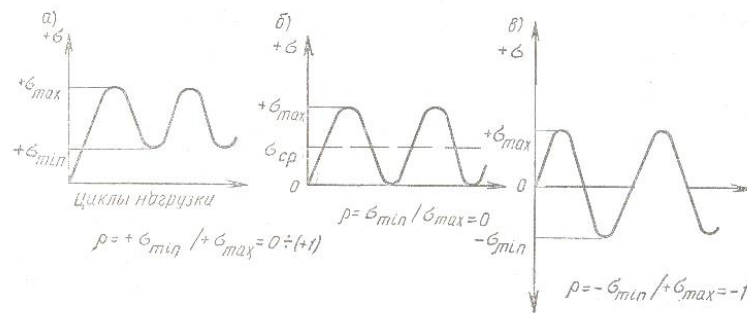
а – болат үшін; б –алюминий қорытпасы үшін

Шаршау шегіне жүк 10 млн. циклдан артық қайталанғандағы материалдың беріктігін жоғалтпайтын, кернеу шамасы сәйкес келеді. Шын мәнінде жүкті 2 млн. циклынан кейін материалдың шаршау шегі көп өзгере қоймайды, сол себепті оның мәні  $2 \cdot 10^6$  жүк циклына сәйкес қабылданады.

Алюмин қортпаларының шаршау шегі жоқ, бірақ есептеу кезінде жүк циклы  $2 \cdot 10^6$  жеткен кездегі кернеу шамасы қабылданады. Егер жүк циклы бұл шамадан артық болса, онда материалдың есептік қарсыласуы төмендетіледі, немесе басқа материал қабылданады.

Қайталана әсер ететін жүк сыналатын үлгіге дислокацияның санын бір жерінде көбейтіп алғашқы жарықшақтар тудырады. Пайда болған жарықшақ жүк әсерінен дами бастайды, үлгі беріктігін жоғалтқан сәтте үлгі қимасы екі түрлі бөліктен тұрады: бірі - үлгіде жарықшақ пайда болған бөліктері өзара үйкеліс жалтырайды; екіншісі - үлгідегі кернеу беріктік шамасынан артқаннан соң барып үзілген бөлік. Бұл бөлік тегіс емес, морт сынған болат қимасындай.

Шаршау шегі жүк түрлеріне байланысты. Жүк сипаттамасы ретінде  $\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$  қабылданатын  $\rho = -1$  - ассиметриялы цикл ретінде  $\rho = 0$  - толық симметриялы цикл;  $0 < \rho < 1$  - симметриясыз цикл. Шаршау шегіне материалдың маркасы, үлгідегі ақаулар қоршаған ортаның температурасы әсер етеді.



Сурет 24. Кернеу ассиметриясының сипаттамалары  
Циклдар: а - бірмәнді; б - толық бірмәнді; в - толық әртүрлі мәнді

Кернеу шамалары жоғары элементтер аз циклді жүк әсерінен де шаршайды, бұл құбылыс болаттардың - «аз циклды шаршауы» - деп аталады. Бұл құбылыс резервуарларды толтырып босатқан кезде, ауа толқыны, ішкі қысымдары төмендеген кезде, гидротехникалық қақпаны ашып - жапқан, т.б. кездерде пайда болуы мүмкін.

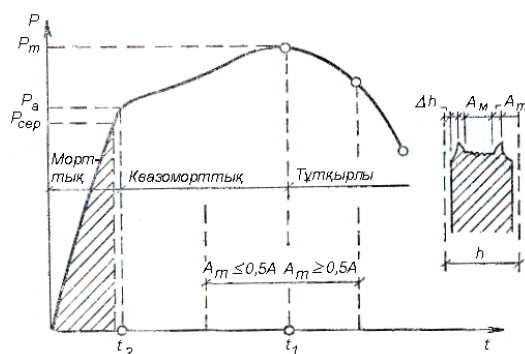
### Болаттың морт сынуы

Аз көміртекті болаттардың беріктігін қоршаған ортаның температурасына жүктеу сипаттамаларына байланысты.

Болат беріктігін үш түрлі жағдайларда жоғалтуы мүмкін: тұтқырлы жағдай - созылымдылық деформация даму арқылы; квази - морттық жағдай - жүк қайталана әсер еткенде болаттың шаршауы арқылы; морттық жағдай - болат деформациясы дамыған сәтте үзілу арқылы.

Болаттың морт сынуына оның сапасы, қартаюы, кернеулерді шоғырлануы, қоршаған орта температурасы, жүктеу түрлері әсер етеді.

Болат құрамындағы күкірт, фосфор, көміртегінің шамадан артық болуы оның мортсынғыштығын арттырады. Болатты легірілеу, термиялық өңдеу морт сынуға қарсыласуын арттырады. Мортсыну қаупі бар конструкциялар үшін «жайлы», «жартылай жайлы» болаттарды қолданған дұрыс.



Сурет 25. Түрлі қираулардың мүмкін облысы

## 1.2 Металл конструкцияларын есептеу негіздері

### 1.2.1. Металл конструкцияларды есептеудің негізгі жағдайлары Шектік жағдай бойынша есептеу әдісі

Құрылыс конструкцияларын есептеудің мақсаты – олар үшін қажетті материалдың, даярлауға, монтаждауға керекті еңбектің шығындарының аз мөлшерімен беріктігін, орнықтылығын қамтамасыз ету.

Құрылыс конструкциялары – күштерден басқа әсерлерден пайда болатын кернеулі жағдайлар мен деформациялардың шектік жағдайларына есептеледі.

Шектік жағдайлар бойынша есептеу әдісі КСРО-да 1950 жылдары тәжіибеге енгізілді. Шектік жағдайлар бойынша есептеу әдісінің мақсаты - конструкциялардың, ғимараттардың немесе құрылымдардың пайдалану, құрылыс жүріп жатқан кездерінде шектік жағдайлардың пайда болуын туғызбау.

«Шектік жағдайлар» – деп конструкциялардың оларға пайдалану, құрылыс жүргізу кездерінде қойылатын талаптарға сәйкес бола алмай қалатын кездерін айтады.

Конструкцияларды әртүрлі күштер мен жүктер әсерлеріне есептегенде төмендегідей шектік жағдайлар ескеріледі:

бірінші топ - конструкциялардың көтеру мүмкіндіктерінен айырылулары немесе пайдалануға мүмкін емес жағдайлары;

екінші топ - конструкцияларды қалыптағыдай жағдайда пайдаланудың қиындауы.

Конструкциялардың бірінші топтағы жағдайларына төменде келтірілгендер кіреді:

- сұлбалардың жалпы орнықтылықтарын жоғалтулары;
- барлық қирау түрлері;
- конструкциялардың айналмалы жүйеге өтулері;
- сыртқы сұлбаларының сапалы өзгерулері;
- көп мөлшерлі қалдық деформациялар мен толық жылжулар, немесе шамадан тыс жарықшақтардың пайда болуы және материалда

аққыштық деформациялар пайда болу себепті конструкцияларды пайдалануды тоқтату.

Бірінші топқа кіретін шектік жағдайлар екіге бөлінеді:

- көтеру мүмкіндіктерін жоғалтулары;
- қалдық жылжулардың шектік мөлшерден артуы себепті пайдалану мүмкіндіктері жоғалтулары.

Шектік жағдайлардың екінші тобына белгіленген мөлшерден артық жылжулардың (иілу, бұрылу бұрышы, тербелу амплитудалары, жарықшақтар, т.б.) әсерінен конструкцияларды дұрыс пайдалану мерзімін қысқартатын жағдайлар жатады.

Бірінші топқа кіретін шектік жағдайлар ең үлкен әсер мен жүктердің есепті шамаларына, ал екінші топқа кіретін шектік жағдайлар әсер мен жүктерді мөлшерлі шамаларына есептеледі.

Конструкцияларда шектік жағдайларды туғызбау сенімділігі - материалдың қарсыласуларының ең төменгі шамаларын, ал жүк пен әсерлердің ең жоғарғы қисынды үйлесімдері ескеру; олардың есептік сұлбаларын дұрыс қабылдау; конструкциялардың шын жұмыс істеуін ескеру; керек кезінде материалдардың реологиялық, созылымдылық қасиеттерін ескеру арқылы қамтамасыз етіледі.

Көтеру мүмкіндігі бойынша бірінші топтағы шектік жағдайлардың шарты ортақ түрде төмендегідей жазылады:

$$\bar{N} \leq \bar{S} \quad (1)$$

бұл жерде:  $\bar{N}$  - конструкциялардағы есепті жүктердің ең жоғарғы қисынды үйлесімділігі қосындысынан табылған есепті ішкі күш;

$\bar{S}$  - есептеліп отырған элементтің қабылдай алатын шектік күші - материалдың қарсыласуы мен қиманың геометриялық өлшемдерінің функциясы.

Жүктердің есепті шамалары мөлшерлі мәндерінің жүктер бойынша сенімділік коэффициентіне көбейту арқылы табылады. Жүктер бойынша сенімділік коэффициенті ғимарат пен құрылымдардың жауапкершілігін ескереді. Конструкцияларды есептегенде жүктердің әсер ететін ең ыңғайсыз үйлесімін қарастыру керек.

Жүктердің бірге әсер ету ықтималы олардың қосындысын үйлестіру коэффициентіне көбейту арқылы табылады.

Сонымен  $\bar{N}$  - күшін төмендегідей жазуға болады:

$$\bar{N} = \sum N_i F_{ni} \gamma_{fi} n_c \gamma_n \quad (2)$$

бұл жерде:  $N_i - F_i = I$  тең кезде пайда болатын ішкі күш;  $\gamma_{fi}$  - жүктер бойынша сенімділік коэффициенті;  $\gamma_n$  - арнайы сенімділік коэффициенті;  $n_c$  - үйлестіру коэффициенті.

Есептеліп отырған элементтің қабылдай алатын шекті күш қиманың геометриялық сипаттамаларын материалдың есепті қарсыласуына және жұмыс шартын ескеретін коэффициентіне  $\gamma_c$  көбейтіліп табылады.

Материалдың есепті қарсыласуы олардың аққыштық шегін  $R_{yn}$  беріктік шегі  $R_{un}$  бойынша анықталған мөлшерлі қарсыласуларын материалдар бойынша сенімділік коэффициентіне бөлу арқылы анықталады.

Шекті күштердің мәндері:

- аққыштық шегі бойынша

$$\bar{S} = A_{HT} R_{yn} \gamma_u / \gamma_m = A_{HT} R_y \gamma_c \quad (3a)$$

бұл жерде:  $A_{HT}$  - қиманың геометриялық сипаттамасы;  $R_y$  - болаттың аққыштық шегі бойынша табылған есептік қарсыласуы;  $\gamma_m$  - материалдар бойынша сенімділік коэффициенті;  $\gamma_c$  - жұмыс шарты коэффициенті.

- беріктік шегі бойынша:

$$\bar{S} = A_{HT} R_{un} \gamma_c / \gamma_m \gamma_c = A_{HT} R_u \gamma_c / \gamma_u \quad (3b)$$

бұл жерде:  $R_u$  - болаттың беріктік шегі бойынша табылған есепті қарсыласуы;  $\gamma_u$  - конструкцияларды беріктік шегі бойынша табылған есепті қарсыласуды пайдаланып есептегенде ескерілетін сенімділік коэффициенті ( $\gamma_u = 1,3$ ).

Шекті жағдайлардың бірінші тобы бойынша беріктік шарты төмендегідей жазылады:

$$\sum N_i F_{ni}^H \gamma_{fi} \gamma_n n_c \leq A_{HT} R_{yn} \gamma_c / \gamma_m \quad (4a)$$

немесе

$$\sum F_i^H N_i \gamma_{fi} \gamma_n n_c \leq A_{HT} R_{un} \gamma_c / \gamma_m \gamma_u \quad (4b)$$

Бірінші топқа кіретін шекті жағдайлар бойынша анықталатын жылжулар мен деформациялардың әсерінен конструкцияларды пайдалану тоқтатылатын болғандықтан шектік шарты төмендегідей жазылады:

$$\sum F_i^H \gamma_{fi} N_i n_c \gamma_n \bar{\delta}_1 \leq \delta_1 \quad (4в)$$

бұл жерде:  $\bar{\delta}_1$  - 1 ге тең жүктің әсерінен жылжуы;  $\delta_1$  - шекті қалдық немесе толық жылжуы.

Екінші топқа кіретін шекті жағдайлар бойынша шектік жағдай шарты келесі түрде жазылады:

$$\sum F_i^H N_i \gamma_n n_c \bar{\delta}_2 \leq \delta_2 \quad (5)$$

бұл жерде:  $\bar{\delta}_2$  - тең жүк әсерінен жылжуы немесе серпімді деформациясы;  $\delta_2$  - шекті деформация немесе жылжу, бұл шама мөлшерлейтін құжаттарда келтіріледі, егер деформациялар мен жылжулар бұл шамадан асып кетсе, онда конструкцияларды дұрыс пайдалану қиындайды.

### 1.2.2. Жүктер мен әсерлер

Конструкцияларды есептеу үшін жүктер мен әсерлердің мәндері «Жүктер мен әсерлер» жайында «құрылыс нормалары мен қағидалары» (СНИП 2.01.07-85) және стандартқа (СТС ЭВ 1407-78) «Құрылыс конструкциялары мен жертабандары» сәйкес қабылданады.

#### **Жүктер мен әсерлердің жіктелуі және сипаттамалары**

Жүктер мен әсерлердің әсер ететін уақыты бойынша:

- тұрақты (егерде күштер мен әсерлердің бағыттары мен мәндері өзгермейтін болса);
- уақытша болып бөлінеді.
- Уақытша жүктер мен әсерлер:
  - ұзақ мерзімді әсер ететін;
  - қысқа мерзімді әсер ететін;
  - ерекше әсер ететін - болып бөлінеді.

Тұрақты жүктер мен әсерлерге: конструкциялардың, ғимараттардың және құрылымдардың өз салмақтары; топырақтың салмақтары мен қысымдары; алдын-ала кернеулеудің әсерлері жатады.

Ұзақ мерзімді әсер ететін уақытша жүктер мен әсерлерге: тұрақты құрал-жабдықтардың салмақтары; ыдыстардағы сұйықтар мен сусымалы заттардың салмақтары; резервуарлар мен газгольдерлердегі және құбырлардағы газдар мен сұйықтардың қысымдары; гидротехникалық қақпалар мен шлюз қақпаларына судың статикалық әсерлері; қамбалар мен кітапханалар, архивтер, т.б. мекен-жайлардың жабындарына әсер ететін жүктер; температураның ұзақ уақыт бойы әсер етуі және т.б. жатады.

Қысқа мерзімді әсер ететін уақытша жүктер мен әсерлерге: атмосфералық әсерлер - қарлар, желдер, мұздақтар мен температураның өзгерулері; жүк көтеретін, тасымалдайтын құралдардың әсерлері; қоғамдық және тұрғын үйлер жабындарына әсер ететін пайдалы жүктер; құрылыс

контструкцияларын тасымалдау, монтаждау кездеріндегі жүктер мен әсерлер жатады.

Ерекше жүктер мен әсерлерге: зіл – залалық және жарылыс әсерлері; құрал-жабдықтардың бұзылуы, технологиялық процесстердің бұзылуы; ғимараттар мен құрылымдар табандарының белгілі бір шамаға тез төмендеп кетуі жатады.

Жүктердің мөлшерлі шамалары – олардың негізгі сипаттамалары статистикалық берілгендеріне сәйкес қабылданады. Тұрақты жүктер мен әсерлердің мөлшерлі шамалары - конструкцияны даярлаған зауыттардың стандарттары бойынша немесе олардың өлшемдеріне тығыздығына байланысты анықталған салмақтарына тең етіп қабылданады. Құрал-жабдықтардың салмақтары стандарттар мен каталогтар бойынша немесе жобалау үшін жасалған тапсырмаларда көрсетіледі.

Тұрғын үйлер мен қоғамдық ғимараттардың қабат жабындарына әсер ететін адамдардың, жабдықтардың, т.б. қысқа мерзімді әсер ететін жүк шамалары инструкторивті - нормаланған құжаттар бойынша анықталады.

Көтеретін - тасымалдайтын құралдар жүктері стандарттарға сәйкес қабылданады. Қар жүгінің мөлшерлі мәні гидрометеорологиялық қызмет анықтаған 10 жыл бойы желден қорғалған жердегі қар жауғандағы судың орта мәндеріне сәйкес қабылданады.

Желдің әсері гидрометеорологиялық қызметтің жер бетінен 10м биіктікте анықталған жел жылдамдығы бойынша табылады. Желдің жылдамдық арыны келесі формула бойынша анықталады:

$$W_0 = v^2 / 16 \quad (6)$$

бұл жерде:  $v$  - 5 жыл бақыланып статистикалық жолмен табылған жылдамдығы.

Жел әсерінің мөлшерлі мәні келесі формула бойынша анықталады:

$$W^H = W_0 k c \quad (7)$$

бұл жерде:  $W_0$  - желдің жылдамдық арыны;  $k$  - жел арынының жер бетінен биіктік деңгейіне қарай өзгеретінін ескеретін коэффициент;  $c$  - аэродинамикалық коэффициент.

Кейбір конструкцияларды жобалау кезінде мұздақтың әсерін ескеру керек, оның мәні жобалау нормаларында келтірілген.

Конструкцияларды температураның әсеріне ғимараттарды құрастыру және пайдалану кезеңдерінде есептеу қажет. «Температура айырмашылығы температуралық құлып» - деп аталатын мәніне тең етіп қабылданады. Температуралық әсерлер «Жүктер мен әсерлер» жайындағы құжатта (СНИП 2.01.07-85) сәйкес қабылданады. Сейсмикалық әсерлер құрылыс жүргізілетін ауданның есепті баллына сәйкес қабылданады.

Жүктердің мөлшерлі мәндерінің өзгеруін ескеретін коэффициент - «жүктер бойынша сенімділік коэффициенті» - деп, ал жүктердің мөлшерлі мәндері мен жүктер бойынша сенімділік коэффициенттердің көбейтіндісін «жүктердің есепті мәндері» - деп аталады. Жүктер бойынша



сенімділік коэффициенттері  $n$  жүктердің түрлеріне байланысты. Мысалға, егер темірбетон конструкциялары зауытта даярланса  $\gamma_f=1,1$  тең, ал құрылыс алаңында даярланса  $\gamma_f=1,2\dots 1,3$  тең; металл конструкциялар үшін  $\gamma_f=1,05$  тең етіп қабылданады. Егерде тұрақты жүк салмағы конструкцияның жұмысын жақсартатын болса, онда  $\gamma_f=0,9$  тең етіп қабылданады. Уақытша жүктер үшін: жел әсерін  $\gamma_f=1,4$ ; қар әсерін  $1,4\dots 1,6$  дейін қабылданады.

### Жүктер үйлесімі

Құрылыс конструкцияларына әр түрлі жүк жеке әсер етпей, бірге әсер етеді.

Жүктер үйлесімін төмендегідей бөледі:

а) негізгі үйлесім - тұрақты, ұзақ мерзімді уақытша және барлық әсер етуі ықтимал қысқа мерзімді әсер ететін уақытша жүктер қосындыларынан тұрады;

б) ерекше үйлесім - тұрақты, ұзақ мерзімді уақытша, бір қысқа мерзімді уақытша және ерекше уақытша жүктер қосындыларынан тұрады.

Жүктер бірге әсер еткенде ең жоғарғы шамаларына жету ықтималы өте аз. Сол себепті статистикалық мағлұматтар мен ықтималдар теориясы бойынша негізгі үйлесімінде қысқа мерзімді уақытша әсер ететін жүк саны екіге тең немесе одан жоғары болса, жүктердің үйлесім коэффициенті  $n_c=0,9$  тең етіп қабылданады.

### 1.2.3. Материалдардың мөлшерлі және есепті қарсыласулары

Материалдардың мөлшерлі қарсыласулары - сырттан әсер еткен күштерге материалдардың қарсыласуын негізінен сипаттайтын, құрылыс конструкцияларын жобалау мөлшерлері бойынша анықталады:

$R_{ym}$  - болаттың аққыштық шегі бойынша қабылданған;  $R_{um}$  - беріктік шегі бойынша қабылданған шамалар.

Болаттың мөлшерлі қарсыласу шамалары стандартқа сай жүргізілген сынақ нәтижелерінің ең аз мәндеріне сәйкес қабылданады. Мөлшерлі қарсыласу мәндерін қамтамасыз етуі 0,95 -тен кем болмау керек.

Аз көміртекті, беріктігі жоғары болаттар және алюмин қортпалары үшін - созылатын, иілетін элементтерінде созылымдылық деформациялар пайда болатындықтан, сығылатын элементтер өз орнықтылықтарын жоғалтатын болғандықтан - олардың мөлшерлі қарсыласу шамалары, олардың аққыштық шегіне тең етіп қабылданады. Егерде болаттардың аққыштық шектері анық табылмайтын болса, созылымдылық сатыға өтуін анықтау мүмкін болмаса аққыштық шектері мен беріктік шектерінің арақашықтары аз болса (беріктігі аса жоғары болаттар), егерде конструкциялардың шекті жағдайлары олардың тек беріктіктерімен шектелсе, онда болаттардың мөлшерлі қарсыласулары олардың беріктік шектеріне тең етіп қабылданады.

Кесте 4.

Болат прокаттарының материалдар бойынша сенімділік коэффициенттері

| Болаттардың топтары   | Болаттардың мемлекетті стандарттары (МЕСТ) мен техникалық шарттары (ТШ)         | Материалдар бойынша сенімділік коэффициенттері $\gamma_M$ |
|---|---|---|
| Беріктігі қалыптағыдай және жоғары $\sigma_T < 380 \text{ МПа}$ | МЕСТ 23570-79<br>ТШ 14-1-3023-80  | 1,025   |
|   | МЕСТ 380-71<br>МЕСТ 14637-79<br>МЕСТ 19281-73<br>МЕСТ 10705-80<br>МЕСТ 19282-73 | 1,05  |
| Беріктігі аса жоғары $\sigma_T > 380 \text{ МПа}$               | МЕСТ 19281-73<br>МЕСТ 19282-73<br>ТШ 14-3-829-79                                | 1,1   |
|   | ТШ 14-1-1308-75<br>ТШ 14-1-1772-76  | 1,15  |

Сонымен металлдың екі мөлшерлі қарсыласу шамалары бар - аққыштық шегі бойынша  $R_{yn} = \sigma_T$  және беріктік шегі бойынша  $R_{un} = \sigma_B$ .

Беріктік шегі мен аққыштық шектері стандартқа сәйкес қабылданады, қамтамасыз ету шамасы 0,95 - 0,995 аралығында жатады.

Материалдар бойынша сенімділік коэффициенттері болаттардың конструкцияларда жұмыс істеулері және сынау қортындыларының жайылу сызықтарын анализ жасау арқылы анықталады. Құрылыс болаттарының есепті қарсыласуларының мәндері құрылыс қағидалары мен ережелерінде келтірілген.

Кесте 5.

Материалдардың есепті қарсыласуын анықтайтын формулалар

| Кернеулі жағдайлар      |                       | Шартты белгіері | Прокат пен құбырлардың есепті қарсыласулары |
|-------------------------|-----------------------|-----------------|---|
| Созылу, созылу және иіу | Аққыштық шегі бойынша | $R_y$           | $R_y = \frac{R_{yn}}{\gamma_m}$             |
|                         | Беріктік шегі бойынша | $R_u$           | $R_u = \frac{R_{un}}{\gamma_m}$             |

|   |          |  |
|---|----------|--|
| Ығысу   | $R_s$    | $R_s = 0,58 \frac{R_{yn}}{\gamma_m}$     |
| Тік кесін бетінің мыжылуы<br>(беті тегіс жатқан кезде)  | $R_{pz}$ | $R_{pz} = \frac{R_{un}}{\gamma_m}$       |
| Цилиндрлі топсалардың<br>толық жанасқандағы<br>жергілікті мыжылуы   | $R_{lp}$ | $R_{lp} = 0,5 \frac{R_{un}}{\gamma_m}$   |
| Доңғалақтың диаметр<br>бойынша сыққанда қозғалуы<br>(шектеулі<br>конструкциялардың еркін<br>жанасатын кездерінде) | $R_{cd}$ | $R_{cd} = 0,025 \frac{R_{un}}{\gamma_m}$ |
| Прокат қалыңдығынан тыс<br>бағытта созу (60 мм-дейін)   | $R_{th}$ | $R_{th} = 0,5 \frac{R_{un}}{\gamma_m}$   |

#### 1.2.4. Арнайы сенімділік коэффициенттері

Ғимараттар мен құрылымдардың жауапкершіліктерінің кластарын арнайы сенімділік коэффициенттері ескереді.

I. Халық шаруашылығы мен әлеуметтік маңызы бар ғимараттар мен құрылымдар (жылу электрлі станциялар, атом электр станциялары, домна пештерінің орталық түйіндері, биіктігі 200 м-ден артық түтін құбырлары, телемұнаралар, сиымдылығы 10 мың м<sup>3</sup>-тен артық мұнай және мұнай өнімдері сақтайтын резервуарлар, жабық стадиондар, театр, кинотеатр, цирк, жабық базар, оқу-орындары, бала-бақша, әйелдер босанатын үй, мұражай, мемлекеттік архивтер және т.б.) жатады. Бұлар үшін  $\gamma_n = 1$  тең.

II. Халық шаруашылығы мен әлеуметтік маңызы бар ғимараттар мен құрылымдар (өндіріс орындары, ауыл шаруашылығының құрылымдары, тұрғын үйлер мен азаматтық құрылыс орындары, байланыс бөлімдері және I немесе III класқа кірмеген ғимараттар мен құрылымдар) жатады, бұлар үшін  $\gamma_n = 0,95$  тең.

III. Халық шаруашылығы мен әлеуметтік маңызды емес ғимараттар мен құрылымдар (тыңайтқыштар, химикаттар, көмірлер, торфтар және басқа да заттар сақталатын қоймалар, жылыжайлар, күн тартарлар, бір қабатты тұрғын үйлер, сымды байланыстардың тіреулері, мекенжайларды жарықтандыратын сымдар тіреулері, қоралар, уақытша ғимараттар мен құрылымдар және т.б.) жатады, бұлар үшін  $\gamma_n = 0,9$ .

Арнайы сенімділік коэффициенттері жүктердің, ішкі күштері немесе басқа әсерлері мандеріне көбейтіледі.

### **1.3. Конструкция элементтерінің жүк әсерінен жұмыс істеуі және есептелуі**

#### **1.3.1. Кернеулердің түрлері және оларды металл конструкцияларының элементтерін есептеу кезде ескеру**

Кернеулер – негізгі, қосымша жергілікті және бастапқы болып бөлінеді. Негізгі кернеулер - материалдар қарсыласу курсына келтірілген тәсілдермен сыртқы күштер әсерлерінен табылған кернеулер. Негізгі кернеулер қабылдаған идеалды есепті сұлба бойынша табылған ішкі күштерден жергілікті, қосымша және бастапқы кернеулерді ескермей анықталады. Алдын - ала кернеуленген конструкциялардағы кернеулер - негізгі кернеулерге жатады.

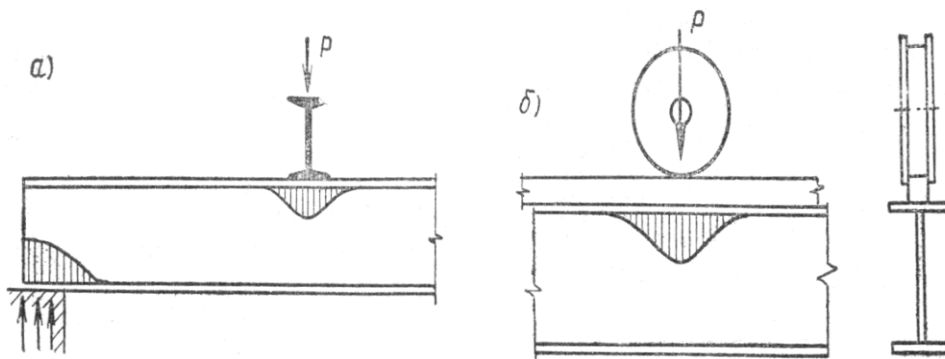
Қосымша кернеулер – идеалды есепті сұлбаларда ескерілмеген қосымша байланыстардың әсерінен пайда болатын кернеулер. Құрылыс механика әдістерімен анықталған қосымша кернеулер созылымды материалдар пайдаланылған конструкциялардың көтеру мүмкіндігіне көп әсер ете қоймайды, өйткені есепті жүктердің әсерінен материалдың артық кернеуленген жерлері созылымдылық жағдайға өтеді. Сол себепті қосымша кернеулер азаяды немесе кемиді. Мысалға торлы конструкциялар элемент-терінің түйін қатаңдығына байланысты, өстік күштерден басқа иілу моменттері пайда болып, қиманың шеткі бөліктерінде қосымша кернеулер тудырады. Кернеулердің өсуі - қима шетінде ертерек созылымдылық деформациялар тудырып, иілу моментінің әсерін азайтады, ал шекті жағдайда, кернеулер аққыштық шегіне жеткенде, түйіндегі элементтер еркін бұралып қосымша моменттің әсерін толық жояды. Сол себепті шын мәніндегі шектік жүк, тек өстік күш әсер еткенмен бірдей болады да, түйін қатаңдығы әсерінен пайда болатын қосымша кернеулер конструкцияларды есептеу кезінде ескерілмесе де болады (кейбір арнайы жағдайлардан басқа).

Жергілікті кернеулер екіге бөлінеді:

- сыртқы жүк әсерінен;
- қиманың тез өзгеруінен немесе қиманың бүтіндігі бұзылғандықтан (ішкі күш сызықтарының өзгеруі себепті кернеу шоғырланғандықтан).

Бірінші жағдайда жергілікті кернеулер сыртқы әсермен теңдесе, екіншісінде өзара теңдеседі.

Сыртқы әсерлердің әсерінен ішкі кернеулер - қадала әсер ететін күш бар жерде, тіреу бар жерде, басқа конструкциялардың тірелетін жерлерінде, көпірлі кран дөңгелегінің арқалыққа тірелетін жерінде және де басқа қосымша элементтер бекітілетін жерлерде пайда болады. Жергілікті кернеулер - өте үлкен созылымдылық деформациялардың дамуына, жарықшақтардың пайда болуына немесе жұқа қималы элементтердің орнықтылығын жоғалтуына (мысалы, қоставр қабырғасында) есептелгенде ескеріледі.



Сурет 26. Жергілікті кернеулер: а - шоғырланған жүктер әсер ететін жерлерінде; б - кран доңғалағынан.

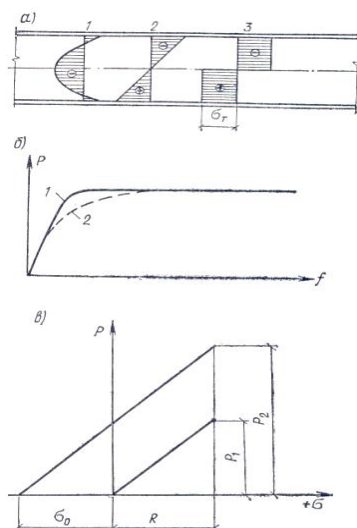
Қалыпты температурада кернеудің шоғырлануы конструкциялардың көтеру мүмкіндігіне әсер етпейтін болғандықтан, оларды есептегенде ескерілмейді. Төменгі температурада бұл құбылыс болат маркасын қабылдау кезінде ескеріледі. Кернеудің шоғырлануы конструкциялардың шаршау шегін төмендетеді, бұл құбылыс конструкцияларды есептегенде ескеріледі.

**Бастапқы кернеулер** - деп конструкцияларды прокаттау, пісіруден кейін бір қалыпты суымағандықтан, немесе бұрынғы жүктеудің кезеңінде пайда болған қалдық кернеулерді айтады.

Бастапқы кернеулер - ішкі, өзіндік және қалдық кернеулер болып бөлінеді. Бастапқы кернеулер тепе-теңдікте кездеседі, сол себепті олардың эпюралары екі мағыналы.

Бастапқы кернеулер негізгі кернеулермен қосылып, оның есептелген шамаларынан көп айырмашылықтар береді, өте ыңғайсыз жайылған бастапқы кернеулер әсерінен созылымдылық деформациялар дамымай конструкциялар морт сынуы мүмкін, өзіндік кернеулердің сызықтық өрісі элементтердің көтеру мүмкіндігіне көп әсер ете қоймайды. Бастапқы кернеулер деформациялардың дамуына, элементтердің серпімділік модулінің кішіреюіне әкеп соғып, центрден сығылған бойлық иілу кезіндегі орнықтылығына кері әсерін тигізеді.

Бастапқы кернеулермен күрес конструктивтік шаралар қолдана және де металл конструкцияларын даярлау технологиясын жақсартта жүргізіледі.

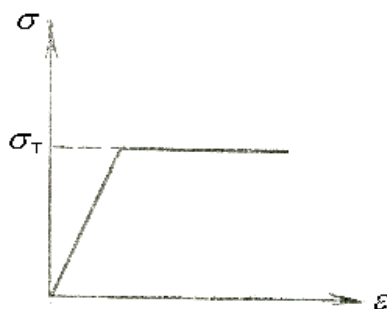


Сурет 27. Бастапқы кернеулер:

а – қоставр кескінді арқалықтағы кернеулер; б – арқалықтардың майысуы;  
в – алдын ала кернеулеу арқылы арқалықтардың көтеру қабілеттігін жоғарылату.

### 1.3.2 Созылымдылық шарты. Конструкцияларды есептегенде созылымдылық деформацияның дамуын ескеру

$\sigma_T / \sigma_B \leq 0,75$  кіші болаттардың серпімділік сатыдағы жұмысынан кейін алмасу сатысынан өтіп аққыштық шегіне, содан кейін ұзын созылымдылық деформация басталады. Мұндай жұмыс істейтін болаттар пайдаланылған конструкцияларды есептеуді оңайлату үшін, көп қатесі, серпімділік сатыдан бірден созылымдылық сатыға өтетін диаграмманы қабылдауға болады (Прандтль диаграммасы – сурет 28).



Сурет 28. Прандтль диаграммасы

Бұл жорамалда бір өсті сызықтық кернеулі жағдайларда материал серпімділік сатыдан бірден созылымдылық сатыға өтеді. Көп өсті кернеулі жағдайларда созылымдылық сатыға өтуі бір ғана кернеуге байланысты емес, кернеулер функциясына байланысты, бұл шарт - *созылымдылық*

**шарты** - деп аталады (созылымдылыққа өту шарты). Созылымдылық шарты есептеу негізін құрайтын беріктік теориясына байланысты жазылады. Құрылыс нормалары мен ережелері – ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002 металл конструкцияларын есептеу үшін IV энгергетикалық беріктік теориясын ұсынады.

Бұл теория бойынша созылымдылық деформациялар дене сұлбаларын өзгертетін потенциалдық энергия өзінің ең үлкен мәнінде болғанда ғана дамиды. Созылымдылық шарт күрделі кернеулі жағдайларда келесі түрде жазылады:

$$\begin{aligned}\sigma_{шек} &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} = \sqrt{2(\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{31}^2)} = \sigma_T\end{aligned}\quad (8)$$

Келтірілген кернеулер тік және жанама кернеулер бойынша:

$$\sigma_{шек} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - (\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x)} + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2) = \sigma_T \quad (9)$$

осыдан иілу кезінде (жүк әсер ететін жерден алысырақта):

$$\sigma_x \neq 0; \quad \tau_{xy} \neq 0 \quad (10)$$

Созылымдылық шарты:

$$\sigma_{шек} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = \sigma_T \quad (11)$$

Таза ығысуда:

$$\sigma_{шек} = \sqrt{3\tau_{xy}^2} = \sigma_T \quad (12)$$

немесе

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} = 0,58\sigma_T \quad (13)$$

III беріктік теориясы бойынша:

$$\tau_{xy} = 0,5\sigma_T \quad (14)$$

### 1.3.3. Центрден созылатын элементтердің шекті жағдайлары және есептелулері

Центрден созылатын элементтердің жүк әсерінен жұмыс істеуі алдыңғы бөлімінде қарастырдық. Центрден созылған элементтерді, бірінші топтағы шекті жағдайлар бойынша беріктігі және пайдалануға жарамдылығы есептеп тексеріледі. Беріктігін тексеру есептік жүктен табылған кернеуді, материалдың беріктік шегі бойынша анықталған есептік қарсыласуын, жұмыс шарты коэффициентіне көбейтіп және салыстыру арқылы тексеріледі.

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq \frac{R_u}{\gamma_u} \cdot \gamma_c \quad (15)$$

бұл жерде:  $N$  - есептік жүктерден табылған бойлық ішкі күш;

$A_n$  - созылған элементтің нетто ауданы;

$R_u$  - беріктік шегі бойынша анықталған есептік қарсыласуы;

$\gamma_u$  - сенімділік коэффициенті, есептік қарсыласуы беріктік шегі бойынша анықталғанда 1,3 тең етіп қабылданады;

$\gamma_c$  - жұмыс шарты коэффициенті.

Центрден созылған элементтердің пайдалануға жарамдылығы серпімділік сатыда жұмыс істегендегі деформацияның дамуын белгілі шамадан аспауын қадағалау арқылы тексеріледі. Кернеу аққыштық шегіне жеткен кезде салыстырмалы деформация 0,2% жетеді. Центрден созылған бойлық кернеудің аққыштық шегі бойынша анықталған есептік қарсыласуды жұмыс шарты коэффициентіне көбейтіндісімен салыстырса салыстырмалы деформация 0,2% аспайды:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c \quad (16)$$

### 1.3.4. Иілген элементтердің шектік жағдайлары мен есептелулері

Иілген элементтерді жұмыс істеу сатыларында келесі шектік жағдайлар есептеп тексеріледі: бірінші топ – беріктігін жоғалтуы, орнықтылығын жоғалтуы; материалдың аққыштық шегіне жетуі; екінші топ - шектік иілу мөлшеріне жетуі.

#### Иілген элементтердің серпімділік сатыда есептелуі

Бұл кезде, шектік жағдайлар нормалды және жанама кернеулердің ең жоғары мәндері аққыштық шегіне жетуі арқылы анықталады.



Серпімділік сатыда жұмыс істейтін иілген элементтердің, басқа жазықтардың бірі бойында иілуі кезіндегі беріктігі келесі формулалар бойынша тексеріледі:

$$\sigma = \frac{M}{W_{n.\min.}} \leq R_y \gamma_c \quad (17)$$

$$\tau = \frac{QS}{It} \leq R_s \gamma_c \quad (18)$$

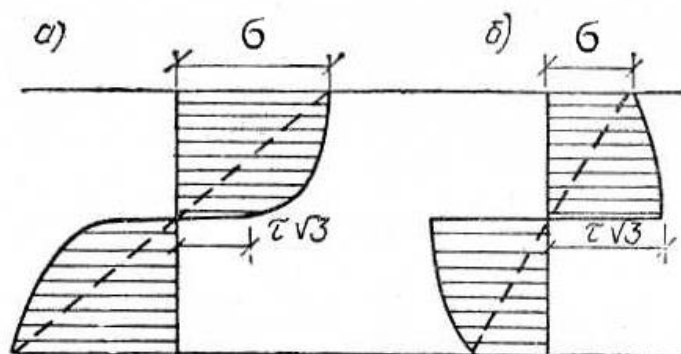
бұл жерде:  $M$  және  $Q$  - есептік жүктердің әсерінен табылған иілу моменті мен көлденең қиюшы күші;  $W_{n.\min.}$  - элементтердің серпімді жұмыс істеу сатысындағы көлденең қиманың нетто қарсыласу моменті;  $S$  - қиманың бейтарап өске қарағанда ығысатын бөлігінің нетто статикалық моменті;  $R_y$  - аққыштық шегі бойынша анықталған қарсыласуы;  $R_s$  - материалдың ығысу кезіндегі есептік қарсыласуы;  $\gamma_c$  - жұмыс шарты коэффициенті.

Екі негізгі жазықтықтар бойынша иілген элементтердің беріктігі келесі формуламен тексеріледі:

$$\sigma = \frac{M_x}{J_{x.n}} \cdot y \pm \frac{M_y}{J_{y.n}} \cdot x \leq R_y \gamma_c \quad (19)$$

бұл жерде:  $x$ ,  $y$  - негізгі өстерге қарағандағы нүкте координат-тары.

Тік және жанама кернеулер бірге әсер еткенде келтірілген кернеу  $\sigma_{\text{шек}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$  аққыштық шегіне жеткен кезде барып созылымдылық сатыға өтеді. Егер жанама кернеу аз болғанда материалдың аққыштығы қиманың ең шеткі талшықтарында басталады. Өте үлкен көлденең қиюшы күш әсер ететін кезде материалдың аққыштығы бейтарап өсте ( $\tau = \tau_T = \sigma_T / \sqrt{3}$ ) басталады да, иілетін элементтер көтеру мүмкіндігін ерте жоғалтады (сурет 29).

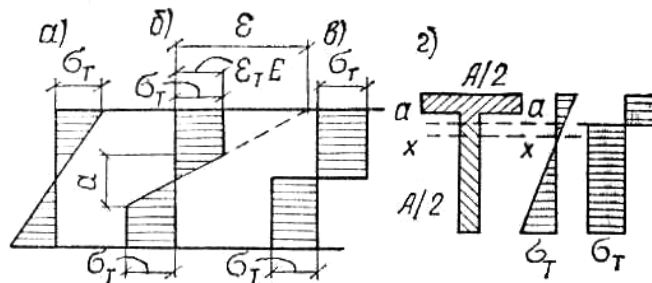


Сурет 29. Келтірілген кернеулер эпюрасы а -  $\sigma > \tau\sqrt{3}$ ; б -  $\sigma < \tau\sqrt{3}$

## Иілген элементтердің созылымдылық деформацияның дамуын ескергендегі жұмыс істеуі және есептелулері

Аз көміртекті болат элементтер иілген кезде серпімділік сатысынан өткен соң созылымдылық деформациялар қиманың ішіне қарай өседі (сурет 30). Созылымдылық деформацияның бар қима бойына таралуы, кернеудің аққыштық шегіне жетуі **«топсалы созылымдылық»** - деп аталады.

Топсалы созылымдылықтың пайда болу сатысында қиманың барлық талшықтары аққыштық шегіне өтеді, сол себепті деформация тұрақты кернеуде өсіп элементтің бейтарап өске «топса өсіне» қарағанда айналдыруы мүмкін. Созылымдылық топсасы шектік момент әсер ететін жазықтықта ғана пайда болады.



Сурет 30. Иілу кезіндегі кернеулер эпюрасының өзгеруі  
 а – серпімділік күйі; б – серпімді-созылымдық күйі; в – топсалы созылымдылық; г – серпімділік жұмысы және топсалы созылымдылық

Басқа жерлерде элемент серпімді сатыда жұмыс істейді. Созылымдылық топсасына сәйкес шекті моментті - қима ауданы бойына таралған кернеу «аққыштық шегіне жетті» - деп табуға болады. Ол келесі формуламен анықталады:

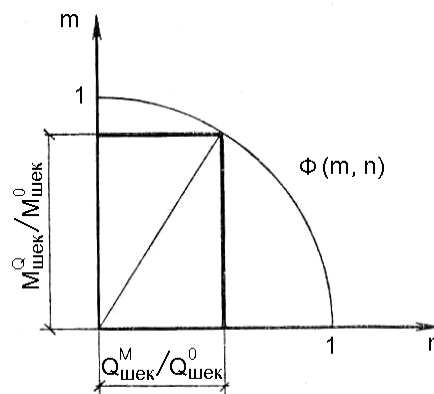
$$M = \sigma_T \int_A y dA = \sigma_T 2S \quad (20)$$

бұл жерде:  $S$  - жарты қиманың бейтарап өске қарағандағы статикалық моменті.

Симметриялы қималардың бейтарап өсі ауырлық центрі арқылы өтеді, ал симметриясы жоқ қималардың бейтарап өсі - қиманы аудандарын бірдей екі бөлікке бөледі. Жоғарыдағы моментті (20) формуланы серпімділік сатыдағы моментпен  $M = \sigma_T W$  салыстырып,  $2S$  созылымдылық қарсыласу моментінің серпімділік шамасына қатынасын «созылымдылық коэффициенті» - деп аталады. Ол шама - тік төрт бұрышты қима үшін  $c = 1.5$ ; прокатталған қостаवर мен швеллер үшін қабырға жазықтығында иілгенде  $c = 1.12$ ; белдеу жазықтығында иілгенде  $c = 1.20$ .

Нормаль және жанама кернеулер бірге әсер еткенде созылымдылық деформация ертерек дамиды. Шекті моменттердің қатынасы  $m = \frac{M_{шек}^Q}{M_{шек}^0} < 1$ ; шекті көлденең қиюшы күштердің қатынасы  $n = \frac{Q_{шек}^M}{Q_{шек}^0} < 1$ ; бұл жерде:  $M_{шек}^Q$  - көлденең қиюшы күш әсер еткендегі шекті момент;  $M_{шек}^0$  - тек момент әсер ететін кездегі шекті момент;  $Q_{шек}^M$  - иілу момент бар кездегі шекті көлденең қиюшы күш;  $Q_{шек}^0$  - момент жоқ кездегі шекті көлденең қиюшы күш.

$M$  және  $Q$  бірге әсер еткенде созылымдылық топсасы белгілі бір функциямен өрнектеледі (сурет 31).



Сурет 31. Арқалық материалының созылымдылық күйіне өту сызығы

Тік төрт бұрышты қималар үшін Б.М.Броуде келесі формула ұсынады:

$$m^2 + n^2 = 1 \quad (21)$$

$$\text{Басқа қималар үшін: } \Phi = m^2 + n^2 - amn = 1 \quad (22)$$

бұл жерде: коставр үшін  $a \approx 0,8...0,9$ .

Келтірілген тендеулердің тура шешімі өте күрделі болғандықтан, белгілі бір нүктеде келтірілген кернеу созылымдылық деформацияның дамуын ескергенде материалдың есепті қарсыласуын әр көбейткен шамасынан аспауы керек.

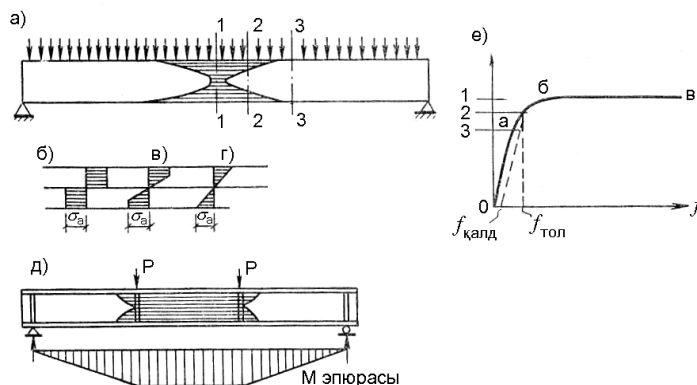
$$\sigma_{кел} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq 1,15R_y \gamma_c \quad (23)$$

Бұл кезде әрбір кернеулер материалдың есепті қарсыласуынан артпауы керек.

$$\sigma_x \leq R_y; \quad \sigma_y \leq R_y; \quad \tau_{xy} \leq R_s; \quad (24)$$

бұл жерде:  $\sigma_x = M \cdot y / I_x$  - арқалық өсіне параллель кернеу;  $\sigma_y$  - арқалық өсіне перпендикуляр кернеу. Бұл кернеуге жергілікті кернеу де кіреді,  $\tau_{xy}$  - жанама кернеу.

Серпімділік сатыда элементтің иілу мөлшері жүктің өсуіне пропорционал өседі (сурет 32 е). Созылымдылық деформациялар дамығанда жүкке қарағанда тезірек өседі де, ал созылымдылық топсасы пайда болғанда иілу мөлшері, материалдың өз-өзінен беріктелуін ескермесек, шексіз өсіп кетеді.



Сурет 32. Жүктеген кездегі элементтің иілуге жұмыс істеуі  
 а - арқалықтың ұзына бойына созылымдылық деформациясының дамуы;  
 б - г - әр қимада кернеудің дамуы; д - таза майысу аймағында созылымдылық деформациясының дамуы; е - арқалықтың майысуы

### Иілген элементтерді созылымдылық деформацияның дамуын шектеу арқылы есептеу

Алда келтірілгендей, созылымдылық топсасы кезінде иілген элементтерде созылымдылық деформация мен иілу мөлшері шексіз өседі.

Конструкциялар өз пайдалану сапасын деформацияның шексіз өскенінен, көтеру мүмкіндігінен ерте айырылады. Өйткені сыртқы әсер ететін жүкті алып тастағанда, қалған қалдық деформацияның шамасы өте үлкен болғандықтан, конструкциялар пайдалануға жарамсыз болып қалады.

1952 ж. Н.С. Стрелецкий пайдалануға жарамсыз болатын шекті жағдайды сипаттайтын сапасы ретінде - қимадағы созылымдылық деформацияны шектеуді қарастыруды ұсынды. Бұл ұсыныс «Болат конструкциялары» (ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002) құжаты бөлімдерінде орын алған.

Есептеу тәжірибелерінде қимадағы шекті салыстырмалы деформациялар  $\bar{\varepsilon}_{кал} \leq 3$  тең, бұл жерде  $\bar{\varepsilon}_{кал} = \varepsilon_{кал} E / R$ .

Статикалық жүк әсер ететін бүтін қимасы арқалықтардағы болатын созылымдылық сатыда жұмыс істетін жанама кернеу  $\tau < 0,9R$  кезінде ескеруге болады. Беріктігі келесі формуламен тексеріледі:

$$\sigma = \frac{M}{c_1 \cdot W_{n,\min}} \leq R_y \gamma_c \quad (25)$$

бұл жерде:  $M$  - июші момент;  $W_{n,\min}$  - кедергі моменті;  $c_1$  - қимада созылымдылық деформацияның дамуын ескеретін коэффициент.

Егер  $\tau \leq 0,5R$  болса, онда  $c_1 = c$ ; ал  $0,5R < \tau < 0,9R$  болса, онда  $c_1$  келесі формула арқылы анықталады:

$$c = 1,05\beta \cdot c = 1,05c \sqrt{\frac{1 - (\tau/R_s)^2}{1 - 2(\tau/R_s)^2}} \quad (26)$$

бұл жерде:  $\alpha$  - қабырғасының жазықтығында иілетін қоставр үшін 0,7 тең (басқа қималар үшін  $\alpha = 0$ );  $\tau = \frac{Q}{th}$  - жанама кернеудің орта мәні.

$c$  коэффициенті қиманың созылымдылық деформацияның даму дәрежесіне байланысты.  $\bar{\varepsilon}_{кал} = 3$  шарты бойынша анықталған  $c$  - мәні «Болат конструкциялары» (ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002) қосымшасында келтірілген.

Арқалық екі жазықтықта иілгенде беріктік келесі формуламен тексеріледі.

$$\frac{M_x}{c_x \cdot W_{xn,\min}} + \frac{M_y}{c_y \cdot W_{yn,\min}} < R_y \gamma_c \quad (27)$$

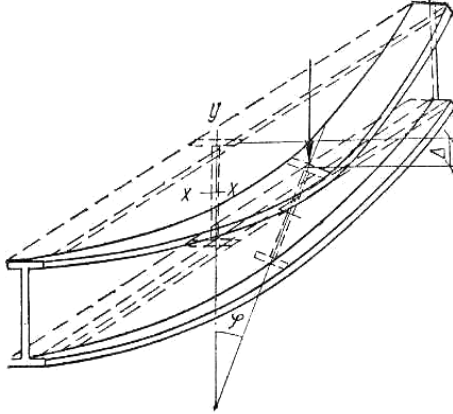
бірақ, жанама кернеулердің мәні  $0,5 R_y$  аспауы керек.

Созылымдылық деформацияның дамуын, созылымдылық деформация элементтің өте аз бөлігінде таралғанда ғана, ескере есептеуге болады. Созылымдылық деформациялардың дамуы элементтің көп жеріне таралатын болса, онда  $\bar{\varepsilon}_{кал} < 3$  жетпей-ақ ол пайдалануға жарамай қалады.

Сол себепті, таза иілетін элементтердің шектік жағдайлары (25) және (27) формулалар арқылы тексерілгенде  $c_1, c_x$  және  $c_y$  коэффициенттердің орнына  $c_{1m} = 0,5 \cdot (1 + c)$ ;  $c_{xm} = 0,5 \cdot (1 + c_x)$ ;  $c_{ym} = 0,5 \cdot (1 + c_y)$  - коэффициенттері қабылданады.

### **Иілетін элементтердің жалпы орнықтылығын тексеру**

Иілген элементтер өз орнықтылығын жоғалтуына байланысты көтеру мүмкіндігін жоғалтады. Иілген элементтер инерцияның басқы өсі бойы өтетін жазықтықта әсер ететін күштің әсерінен орнықтылығын жоғалтқанда өз жазықтығында иіліп, одан кейін күш өзінің қауіпті мәніне жеткенде бұралып иілген жазықтығынан шығып қалады (сурет 33).



Сурет 33. Қоставр арқалықтың иілу кезіндегі орнықтылығын жоғалтуы

Күштің аса қауіпті мәні  $P_{cr}$  - арқалықтың иілу жазықтығынан ауытқуы кезіндегі істеген жұмысы мен одан пайда болған ішкі кернеулердің жұмысын теңестіру арқылы табылады.

$$P_{cr} = \frac{c}{l_2^0} \sqrt{EJ_y \left( GJ_k + \frac{\pi^2}{l_0^2} EJ_\omega \right)} = \frac{c}{l_0^2} \sqrt{EJ_y GJ_k \left( 1 + \frac{\pi^2}{\alpha} \right)} \quad (28)$$

бұл жерде:

$EJ_y$  - жүк әсер ететін жазықтыққа перпендикуляр жазықтықтағы арқалықтың қатаңдығы;

$GJ_k + \frac{\pi^2}{l_0^2} \cdot EJ_\omega$  - қысыла бұралғандағы қатаңдығы;

$G$  - ығысу модулі;

$J_\omega$  - секторлық инерция моменті;

$J_k$  - таза бұралғандағы инерция моменті; қоставр үшін  $J_k = \eta \frac{\sum t^3 b}{3}$ , мұндағы,  $\eta$  - қима сұлбаларын ескеретін коэффициент (үш жолақ болаттан тұратын қоставр үшін  $\eta = 1,3$ );  $t$  - қаңылтыр қалыңдығы;  $b$  - ені;  $c$  - жүктің қай белдеуге әсер етуіне, тіреуге бекітілу түріне байланысты алынатын коэффициент;

$l_0$  - сығылатын белдеудің еркін ұзындығы (бекітілу арасы);

$$\alpha = \frac{l_0^2 GJ_k}{EJ_\omega} \approx \frac{4l_0^2}{h^2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{J_k}{J_y} = \frac{4l_0^2}{h^2} \cdot \frac{1}{2(1+\nu)} \cdot \frac{J_k}{J_y} \approx 1,54 \left( \frac{l_0}{h} \right)^2 \frac{J_k}{J_y} \quad (29)$$

бұл жерде:  $\nu = 0,3$  Пуассон коэффициенті;  $h$  - арқалық қимасының биіктігі.

$$M_{cr} = kP_{cr}l_0 = \frac{kC \sqrt{EJ_y \cdot GJ_k} \cdot \left(1 + \frac{\pi^2}{\alpha}\right)}{l_0} \quad (30)$$

бұл жерде:  $k$  - жүктердің арқалық бойына қалай орналасқанын ескеретін коэффициент.

Ең қауіпті кернеу (арқалықтың сығылатын белдеуінде):

$$\begin{aligned} \sigma_{cr} &= \frac{M_{cr}}{W_x} = \frac{M_{cr}h}{2J_x} = \frac{kC}{2} \cdot \frac{h}{l_0} \cdot \frac{\sqrt{J_y J_k}}{J_x} \sqrt{EG \left(1 + \frac{\pi^2}{\alpha}\right)} = \\ &= \frac{kC}{2} \sqrt{\frac{J_k}{J_y}} \cdot \sqrt{EG} \cdot \frac{l_0}{h} \cdot \frac{J_y}{J_x} \left(\frac{h}{l_0}\right)^2 \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{\alpha}} \end{aligned} ;$$

немесе

$$\sigma_{cz} = A \frac{J_y}{J_x} \left(\frac{h}{l_0}\right)^2 \quad (31)$$

бұл жерде:  $A = \frac{kC}{2} \sqrt{\frac{J_k}{J_y}} \cdot \sqrt{EG} \cdot \frac{l_0}{h} \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{\alpha}}$

Прокатты және құрамалы қоставр үшін коэффициентінің мәні қосымшада келтірілген (ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002).

Арқалықтардың жалпы орнықтылығы келесі формула бойынша тексеріледі:

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_\sigma W_c} \leq R_y \gamma_c \quad (32)$$

бұл жерде:  $W_c$  - сығылатын белдеу үшін қарсыласу моменті;

$\gamma_c$  - жұмыс шарты коэффициенті,  $\gamma_c = 0,95$  ;

$\varphi_\sigma$  - қосымша бойынша табылатын коэффициент.

$$\varphi_\sigma = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_m} = \psi \frac{J_y}{J_x} \left(\frac{h}{l_0}\right)^2 \frac{E}{R_y} \quad (33)$$

$\psi$  - коэффициенті қосымша (ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002) бойынша  $\alpha$  - ға байланысты табылады.

### **Иілген элементтердің деформацияларын тексеру (екінші шектік жағдайлар тобы)**

Құрылымды дұрыс пайдалану кезінде пайда болған деформациялар конструкцияларды әрі пайдалануды қиындатады. Бұл деформациялар (иілу мөлшері) жүктердің мөлшерлі мәндері әсерінен конструкциялардың серпімді сатыда жұмыс істегенде, мөлшерлері олардың шекті шамаларынан  $[f]$  артпауы керек:

$$f < [f] \tag{34}$$

Шекті иілу шамалары 6-шы кестеде келтірілген.

Кесте 6.

Элементтердің тік иілу мөлшерінің шекті шамалары

| Конструкция элементтері                                       | Иілу мөлшерінің элемент аралығына қатынасы; $f/l$ |
|---|---|
| Кран жолының арқалықтары мен фермалар                         | $\frac{1}{500} \dots \frac{1}{600}$               |
| Көпірлі кран жоқ жердегі жұмыс алаңындағы арқалықтар торының: |   |
| - бас арқалығы  | $\frac{1}{400}$                                   |
| - басқа арқалықтар  | $\frac{1}{250}$                                   |
| - болат төсеніш   | $\frac{1}{150}$                                   |
| Үй жабынының арқалықтары мен фермалары:                       | $\frac{1}{250}$                                   |
| - ілінетін құралдар жоқ кезде                                 | $\frac{1}{200}$                                   |
| - қарылар   | $\frac{1}{150}$                                   |
| - профилді төсеніш  |   |

#### **1.3.5. Өстік сығатын күш әсер ететін шыбықтардың шекті жағдайлары және есептелуі**

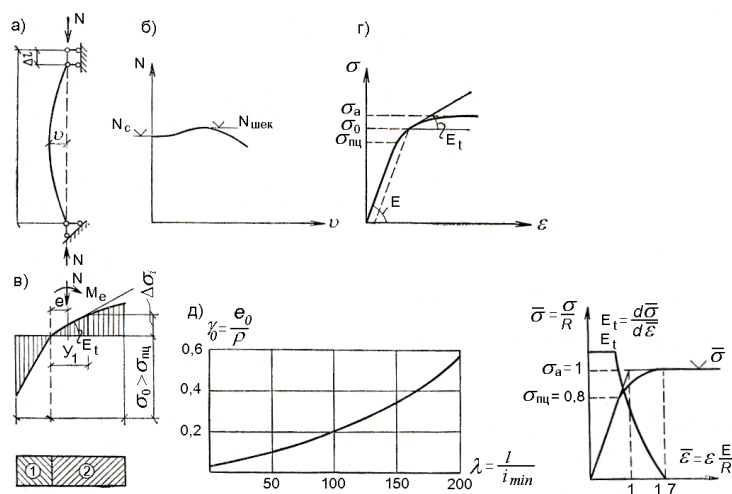
Центрден сығылған шыбықтардың шекті жағдайлары – қысқа шыбықтар үшін кернеудің аққыштық шегіне жету себебі, созылымдылық деформациялардың дамуымен анықталса, ұзын (иілген) шыбықтар үшін - орнықтылығын жоғалтуымен анықталады.



**Беріктікке есептеу.** Центрден сығылатын элементтердің беріктігі, созылған элементтер секілді (15) және (16) формулаларымен тексеріледі. Өте қысқа сығылатын элементтердің (мысалға арқалықтық тірек қабырғалары) беріктігі, олардың кесік бойынша мыжылуға (15) формуладағы  $R_u = R_y$  ауыстыру арқылы тексеріледі.

### Иілгіш шыбықтардың орнықтылығын тексеру

Материалдар кедергісі пәнінен, сыртқы күштердің, шыбық ұштарын жақындату үшін атқарған жұмысы мен сығылған шыбықтардың иілу деформациясының жұмысын теңестіру арқылы, ең қауіпті күштің мәні табылатыны белгілі (сурет 34).



Сурет 34. Центрден сығылған шыбық

- а - орнықтылығын жоғалтқан сығылған шыбықтың ұштарының жақындасуы;
- б - иілу мөлшері мен жүктің арасындағы байланыс; в - орнықтылық жойылған кездегі кернеудің таралуы; г - материалдың жұмыс істеуінің диаграммасы;
- д - бастапқы эксцентриситеттердің графигі;
- төменгі оң жақта -  $\sigma - \varepsilon$  жүйелендірілген диаграммасы

Тік шыбық әсер ететін күштің мәні ең қауіпті мәнінен аз болғанда, күшті алып тастаған кезде ол өзінің тік сызықты орнықтылық жағдайын сақтайды. Күштің мәні ең қауіпті мәніне жеткен кезде, шыбықтың тік сызықты жағдайы орнықты болмай, шыбық өзінің қатаңдығы аздау жазықтығы бойына иіледі, сөйтіп шыбықтың жаңа орнықты жағдайы қисық сызықты болады. Бірақ күштің өскеніне байланысты шыбықтың иілу мөлшері өсіп шыбық өз көтеру мүмкіндігінен айырылады.

Екі басы топсалы бекітілген серпімді шыбықтар үшін ең қауіпті күштің мәні 1744 ж. Л.Эйлер шығарған формула бойынша анықталады:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EJ}{l_0^2} \quad (35)$$

Ең қауіпті кернеу

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EJ_{\min}}{l_0^2 \cdot A} = \frac{\pi^2 E i_{\min}^2}{l_0^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l_0}{i_{\min}}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}, \quad (36)$$

бұл жерде:  $i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}}$ ;  $A$  - қиманың толық ауданы;

$\lambda = \frac{l_0}{i_{\min}}$  - шыбықтың иілгіштігі, шыбықтың есепті ұзындығы мен

қиманың инерция радиусының қатынасы;

$l_0 = \mu \cdot l$  - шыбықтың есепті ұзындығы;  $\mu$  - шыбық толық ұзындығын  $l$  есепті ұзындыққа келтіретін коэффициент, шыбықтардың бастарының бекітілуіне және жүктеу түріне байланысты қабылданады.

(35) формула серпімділік модульдің  $E$  тұрақты болған кезінде ғана дұрыс, осы шартты  $\lambda \geq \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{нц}}}$  мәнінен табуға болады. Иілген  $\lambda < \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{нц}}}$

кіші болғанда центрден сығылған шыбықтар өз орнықтылықтарын серпімділік-созылымдылық сатыда жоғалтады. Шыбық өзінің түзу сызықты орнықтылықты жағдайында сығылу кернеуіне иілу кернеуі қосылып кернеудің бірқалыпты таралуы өзгереді, сөйтіп қосымша сығылатын жағында материал серпімділік-созылымдылық сатыда, ал созылатын жағы серпімділік сатыда жұмыс істейді. Қиманың серпімділік сатыда жұмыс істейтін бөлігінде серпімділік модулі  $E$ , екінші серпімділік-созылымдылық сатыда жұмыс істейтін бөлігінде деформация модулі

$E_t = \frac{d\sigma}{dE}$  (сурет 34 з)  $E > E_t$ , үлкен болғандықтан тепе-теңдік сақталатын болғандықтан ішкі иілген қиманың бейтарап өсі созатын кернеу сыртқы моментке қосымша кішкене момент пайда болады.  $\Delta M_e = Ne'$  ішкі кернеулерден пайда болған қосымша иілу моменті  $\Delta M_i = \int \Delta \sigma_i y_i dA$  тең.

Ең қауіпті жағдайда сыртқы күштің қосымша иілу моменті, ішкі кернеулердің қосымша иілу моментіне тең. Осы шарт бойынша материалдың серпімділік - созылымдылық сатыда жұмыс істегенде ең қауіпті күштің мәнін анықтауға болады.

Центрден сығылған шыбықтар үшін серпімділік-созылымдылық жұмыс істегенде серпімділік модуль орнына келтірілген модуль қабылданады.

$$T = \frac{(EJ_1 + E^{op}J_2)}{J} \quad (37)$$

бұл жерде:  $J_1$  - қиманың серпімді бөлігінің инерция моменті;

$J_2$  - серпімділік - созылымдылық сатыда жұмыс істейтін бөлігінің инерция моменті;  $J$  - толық қиманың инерция моменті.

(36) формула келесі түрде жазылады:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 T}{\lambda^2} \quad (38)$$

Көпшілік конструкцияларда өс бойынша сығатын күштен басқа иілу моментін тудыратын себептер бар (күштің бастапқы эксцентритеті; бастапқы майысулары және т.б.). Бұл эксцентритеттер және майысулар көп факторларға байланысты, сол себепті олар кездейсоқ шамалар болып есептеледі.

Центрден сығылған шыбықтарды есептегенде, аз эксцентритетпен сығылған элементтер секілді есептеледі, олардың орнықтылығы кернеудің ең қауіпті кернеумен салыстыру арқылы тексеріледі:  $\sigma = \frac{N}{A} < \sigma_{cr}$ . Есептеуді оңайлату үшін ең қауіпті кернеуді болаттың есепті қарсыласуын бойлық иілу коэффициенттеріне  $\varphi$  көбейтіп ауыстырады,  $\sigma_{cr} = \varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c$  және центрден сығылған шыбықтардың орнықтылығы келесі формуламен тексеріледі:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \varphi R_y \gamma_c \quad \text{немесе} \quad \sigma = \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c \quad (39)$$

$\varphi$  - коэффициенті шыбықтардың иілгіштіктеріне, материалдың есепті қарсыласуларына байланысты ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002 қосымшасында келтірілген.

### **1.3.6. Центрден тыс созылған және центрден тыс сығылған элементтердің шектік жағдайлары және есептеулері**

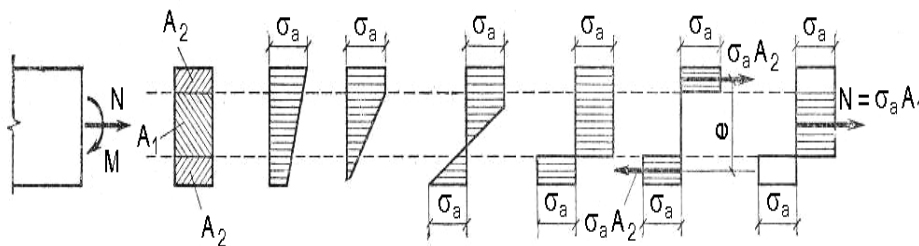
Центрден тыс созылған және қысқа центрден тыс сығылған элементтердің шектік жағдайлары серпімділік сатыда немесе серпімділік - созылымдылық сатыда жұмыс істеулерімен анықталады, ал иілгіш центрден тыс сығылған элементтердің шектік жағдайлары олардың орнықтылығын жоғалтуларымен анықталады.

**Беріктікті есептеу.** Центрден тыс созылған (иіле - созылған) және центрден тыс сығылған (иіле - сығылған) конструкция элементтері, динамикалық жүктер әсер ететін және беріктігі аса жоғары, есепті қарсыласуы  $R_y > 580 \text{ МПа}$ , болаттар пайдаланатын болса, ең үлкен кернеулер шамасы материалдың есепті қарсыласуынан аспауы керек:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{J_{x,n}} y \pm \frac{M_y}{J_{y,n}} x \leq R_y \gamma_c \quad (40)$$

Центрден тыс созылған, центрден тыс сығылған элементтерге статикалық жүк әсер еткенде, есепті қарсыласуы  $R_y > 580 \text{ МПа}$  кіші болғанда, беріктіктерін серпімділік-созылымдылық сатыда созылымдылық деформациялардың дамуын ескере тексереді.

Созылымдылық деформацияның дамуы шекті жағдайда иілген элементтер сияқты «созылымдылық топсасы» пайда болып дамиды, сөйтіп центрден тыс созылған, центрден тыс сығылған элементтер өз беріктіктерін жоғалтады (сурет 35).



Сурет 35.  $M$  мен  $N$  әсері кезіндегі иілімділік шарнирінің пайда болуы

Пайда болған эпюрлар ауданының айырмаларын аққыштық шегіне көбейтсек өстік күш шығады:

$$N_{шек} = \sigma_m \cdot A_1 \quad (41)$$

бұл жерде:  $A_1$  - қима бөлігінің ауданы.

Шекті иілу моменті келесі формула арқылы табылады:

$$M_{шек} = \sigma_m \cdot A_2 \quad (42)$$

бұл жерде:  $A_2$  - қос иінді күштердің бірін анықтайтын аудан;

$e$  -  $A_2$  - аудандардың орталықтарының арақашықтығы.

Сонымен, созылымдылық сатыда бойлық күштің және иілу моментінің кернеулерін шамалап екіге бөлуге болады. Бойлық күштің кернеуі қиманың орта бөлігін қамтиды  $A_2 = A - 2A_1$ , ал иілу моментінің кернеуі қиманың бөліктерін  $A_2$  - қамтиды.

$$\text{Созылымдылық топсасы кезінде: } \nu = \frac{N_{\text{шек}}^M}{N_{\text{шек}}^0} < 1; \quad \mu = \frac{M_{\text{шек}}^N}{M_{\text{шек}}^0} < 1$$

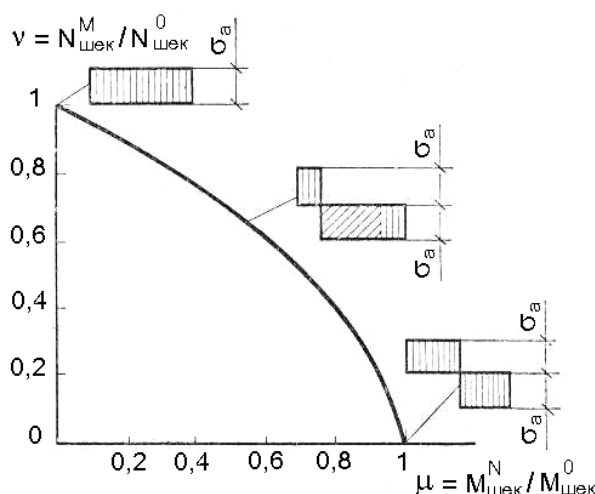
Тік төрт бұрышты қима үшін екі қатынастыр байланысты параболамен өрнектеледі (сурет 36):

$$\nu^2 + \mu = 1 \tag{43}$$

қоставрлы форма үшін келесі формуламен анықталады:

$$\nu^2 - a\mu\nu + \mu = 1 \tag{44}$$

бұл жерде:  $a$  - материалдың қима бойынша жайылуын ескеретін коэффициент.



Сурет 36.  $M$  мен  $N$  әсерінен материалдың созылымды күйіне өтуінің шекаралық сызығы

Пайда болған «созылымдылық топсасы» конструкция элементтерінің деформацияларын тез ұлғайтып жібереді; сондықтан центрден тыс созылған, центрден тыс сығылған элементтердің беріктігі созылымдылық деформацияның дамуын шектеу арқылы тексеріледі.

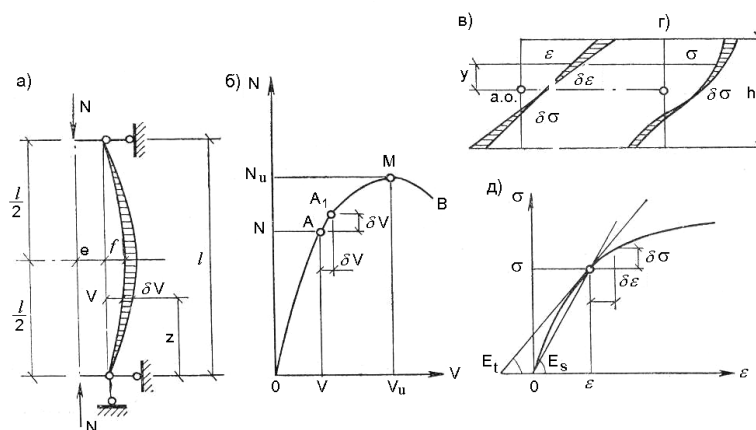
$$\left( \frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n \pm \frac{M_x}{c_x W_{x.\min} R_y \gamma_c} \pm \frac{M_y}{c_y W_{y.\min} R_y \gamma_c} \leq 1 \tag{45}$$

бұл жерде:  $n, c_x, c_y$  - коэффициенттері созылымдылық деформацияның даму дәрежесіне және қиманың сұлбасына байланысты. Коэффициенттердің мәндері  $\bar{\varepsilon} = 3$  тең болғанда, кейбір қималар үшін қосымшада келтірілген (ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002).

### Центрден тыс сығылған (сығыла - иілген) элементтердің орнықтылығын тексеру

Күш белгілі бір эксцентритетпен әсер еткенде, шыбық центрден тыс сығылып жұмыс істейді. Бойлық және көлденең күштер бірге әсер ететін шыбықтар сығыла-иіліп жұмыс істейді. Центрден тыс сығылған шыбықтардың жұмыс істеуі, алдымызда қарастырылған центрден сығылған шыбықтардың жұмысындай. Өйткені оларға әсер ететін күш кездейсоқ бастапқы эксцентритетпен әсер етеді. Центрден тыс сығылған шыбықтарда иілу моментінің әсері молдау.

37-ші суретте сығатын  $N$  күшімен шыбықтың иілу мөлшерінің  $\sigma$  байланыстары келтірілген.



Сурет 37. Орнықтылығын жоғалтқан шыбықтың центрден тыс сығылған есебіне. а - есепті сұлбасы; б - теңдіктің қисық күйі; в - қимадағы деформация эпюрасы; г - кернеу эпюралары; д - материалдың жұмыс істеу диаграммасы

Диаграмманың жоғары өрлейтін бөлігі шыбықтың орнықтылық жағдайын сипаттаса, төмен ылдилайтын бөлігі орнықсыз жағдайын сипаттайды. Шыбықтың көтеру мүмкіндігі  $N$  - ол қарсыласа алатын сығатын күштердің ең үлкені.

Ең қауіпті күшті анықтау үшін келесі жорамалдар қабылданады.

Жылжулар өте аз болғандықтан иілген өстің қисықтығын өрнектеу арқылы пайдалануға болады:

$$\rho \approx -g'' \quad (46)$$

бұл жерде  $\rho$  - қисықтық радиусы.

Көлденең қима бойынша салыстырмалы деформация үшін жазық қималар жайындағы жорамал пайдаланылады (сурет 37).

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \rho y = \varepsilon_0 - g'' y \quad (47)$$

бұл жерде:  $\varepsilon_0$  - бастапқы салыстырмалы деформация;

$y$  - қиманың нүкте ординатасы.

Салыстырмалы деформация мен кернеу байланысы келесі өрнек арқылы анықталады:

$$\sigma = f(\varepsilon) \quad (48)$$

$N_u$  - шекті күшті табу үшін ең шексіз аз әсер шамасы шыбықтың орнықтылығы төңірегіндегі тепе-теңдігін және жүктеу жағдайындағы серпімділігі түзу сызықты емес материал қарастырылады (сурет 35 в мен сурет 37 б).

Бұл үшін  $A$  нүктесі аймағындағы тепе-теңдікті қарастырамыз. (сурет 37 б). Шыбық қимасына әсер ететін ішкі күш пен сыртқы күш және иілу моменттер тепе-теңдіктері келесі түрде жазылады:

$$-\int_A \sigma dA + N = 0; \quad -\int_A \sigma y dA + N(g + e) = 0 \quad (49)$$

Өте аз шексіз шамаға  $\delta g$  жылжыған  $A_i$  нүктесіндегі тепе-теңдік төмендегідей өрнектеледі:

$$\begin{aligned} -\int_A (\sigma + \delta\sigma) dA + N + \delta N &= 0; \\ -\int_A (\sigma + \delta\sigma) y dA + (N + \delta N)(g + \delta g + e) &= 0 \end{aligned} \quad (50)$$

(50) теңдіктен (49) теңдік мүшелерін алып тастағанда, ең шексіз аз шамалы жылжулар үшін тепе-теңдік шартын аламыз:

$$\begin{aligned} -\int_A \delta\sigma dA + \delta N &= 0; \\ -\int_A \delta\sigma y dA + N\delta g + \delta N(g + e) &= 0 \end{aligned} \quad (51)$$

(51) байланыс  $OMB$  қисық сызығының бойымен (37 сурет) сақталады.

Іс жүзінде (51) теңдеулердің *OMB* сызығының ең жоғарғы *M* нүктесіндегі шешімі қажет. *M* нүктесінде өте жақын аймағында сығатын күш мәні өзгермейді, сол себепті  $\delta N = 0$ , (51) теңдеулерден  $\delta N = 0$  тең болғанда келесі теңдеулерді аламыз:

$$-\int_A \delta \sigma dA = 0; \quad -\int_A \delta \sigma y dA + N \delta \vartheta = 0 \quad (52)$$

Материалдың жұмыс істеу диаграммасы бойынша

$$\delta \sigma = \delta \varepsilon \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_t \delta \varepsilon \quad (53)$$

бұл жерде:  $E_t$  - шыбық материалы жанама деформациясының модулі.

(47) теңдеуді ескере:

$$\delta \varepsilon = \delta \varepsilon_0 + \delta \rho y = \delta \varepsilon_0 - \delta \vartheta'' y \quad (54)$$

$\delta \sigma$  орнына (53) қойып (52) теңдеулерден келесі өрнекті аламыз:

$$\begin{aligned} -\int_A E_t (\delta \varepsilon_0 - \delta \vartheta'' y) dA &= 0; \\ -\int_A E_t (\delta \varepsilon_0 - \delta \vartheta'' y) y dA + N \delta \vartheta &= 0 \end{aligned} \quad (55)$$

(55) теңдеулер жүйесінің біріншісінен  $\delta \varepsilon_0$  тауып екіншісіне қойсақ  $N_u$  табу үшін келесі дифференциалдық теңдеуді табамыз:

$$EJ_t \delta \vartheta'' + N \delta \vartheta = 0 \quad (56)$$

бұл жерде:  $J_t$  - өз өсіне сәйкес материалдың жанама модулін ескере табылған қиманың инерция моменті.

Іс жүзінде шығарылатын есептер үшін өстің сұлбасы «жартылай синусоида бойынша иіледі» деп қабылданады (сурет 37 а):

$$\vartheta = f \sin \frac{\pi z}{l} \quad (57)$$

Бұл кезде шыбық қимасының ең кернеуленген бөлігіндегі теңдікті қарастырсақ жеткілікті. (56) және (57) теңдеулерді ескере отырып табамыз:

$$N_u = \frac{\pi^2 EJ_t}{l^2} \quad (58)$$



Шыбықтың келтірілген қатаңдығын табу үшін ең кернеуленген қимадағы кернеулер эпюрасын білу қажет. Кернеу мен салыстырмалы деформация арасындағы қатынасты келесі түрде жазуға болады:

$$\sigma = E_s \cdot \varepsilon = E_s(\varepsilon_0 - \mathcal{G}''y)$$

бұл жерде:  $E_s$  - деформацияның қиюшы модулі (сурет 37 д).

(48) теңдеулер жүйесін ескере центрден тыс сығылған шыбықтар иілуінің дифференциалдық теңдеуін аламыз:

$$EJ_{ef}\mathcal{G}'' + N(\mathcal{G} + e) = 0 \quad (59)$$

бұл жерде:  $J_{ef} = \frac{M}{E \cdot \rho} = 0$  -қиманың өз өсіне сәйкес материалы деформациясының қиюшы модулін ескере келтірілген инерция моменті.

(57) және (59) теңдеуді ескере отырып шыбық қимасы үшін жұмыс диаграммасының  $M$  нүктесіндегі тепе-теңдігін ( $\mathcal{G} = f$ ;  $N = N_u$ ) қарастырамыз :

$$M = N_u(e + f) = \frac{N_u e}{1 - \frac{N_u}{N_{ef}}} \quad (60)$$

бұл жерде:  $N_{ef} = \frac{\pi^2 EJ_{ef}}{l^2}$

Жоғарыда келтірілгендерді пайдаланып центрден тыс сығылған және сығыла-иілген элементтердің орнықтылығын есептеу үшін әдіс табылған. Ол болат конструкцияларды жобалау мөлшерінде (ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002) келтірілген.

Қимасы тұрақты элементтердің жазықтық симметрия өсімен сәйкес иілу моменті әсер ететін жазықтықта орнықтылығын тексеру келесі формула бойынша жүргізіледі:

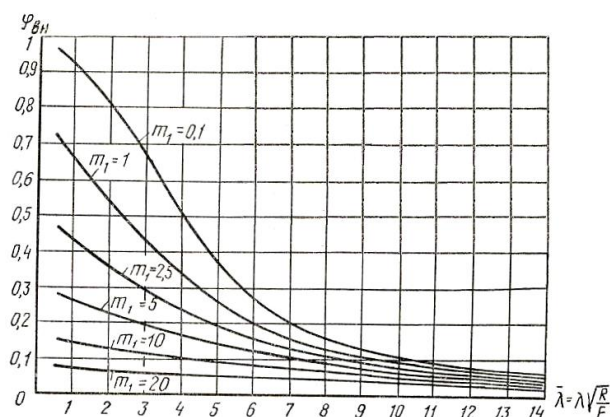
$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e A} \leq R_y \gamma_c, \quad (61)$$

бұл жерде:  $\varphi_e = \frac{\sigma_{u.T}}{R_y}$  - центрден сығылған кездегі материалдың есепті қарсыласуын төмендететін коэффициент (ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002).

Бұл коэффициент шартты иілгіштікке  $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E}$  және келтірілген эксцентритетпен байланысты табылады:

$$m_1 = \eta \cdot m, \quad (62)$$

бұл жерде:  $\eta$  - қима сұлбасын ескеретін коэффициент;  $m = \frac{e}{p} = \frac{eA}{W_c}$  - салыстырмалы эксцентритет (эксцентритеттің қима ядросының радиусына қатынасы);  $W_c$  - ең қатты сығылған талшықтың қарсыласу моменті;  $e = \frac{M}{N}$  - бойлық күштің эксцентритеті;  $M$  - шыбық шеттерінің бекітулеріне және иілу моменттерінің эпюрларының түрлеріне байланысты алынатын есепті момент;  $\varphi_e$  - коэффициентінің келтірілген эксцентритет пен иілгіштігіне байланысты (сурет 38) келтірілген.



Сурет 38.  $\varphi_e$  коэффициенттерінің графиктері

Қима сұлбасын ескеретін коэффициент центрден тыс сығылған шыбықтардың орнықтылығын жоғалту кезінде созылымдылық деформацияның дамуы себепті қиманың әлсіреуін ескереді.

Центрден тыс сығылған қатандықтары бас бағыттарда әртүрлі ( $J_x > J_y$ ) шыбықтарға иілу моменті үлкен қатандықты бағытта әсер еткенде олар момент әсер ететін жазықтыққа перпендикуляр жазықтықта орнықтылығын жоғалтуы мүмкін.

Бұндай шыбықтардың иілу моменті әсер ететін жазықтықтан тыс жазықтықтағы орнықтылығы келесі формуламен тексеріледі:

$$\sigma = \frac{N}{c \cdot \varphi_y \cdot A} \leq R_y \gamma_c \quad (63)$$

бұл жерде:  $\varphi_y$  - центрден сығылған элементтер тәрізді  $\lambda_y$  - иілгіштігіне байланысты табылатын бойлық иілу коэффициенті;  $c$  - орнықтылықтың иілу, бұралу түріне салыстырмалы эксцентритет және қима сұлбасына байланысты алынатын коэффициент.

### 1.3.7. Элементтердің жергілікті орнықтылығын тексеру

Жұқа қабырғалы, әсіресе, қысқа шыбықтардың қабырғалары мен белдеулері өз орнықтылықтарын шыбықтардың жалпы орнықтылықтарынан ерте жоғалтады. Қима элементтерінің жергілікті орнықтылығын жоғалтуы және оның жұмыстан шығып қалуы элементті әлсіретіп жібереді, деформация таралмаған қима симметриясын бұзады, иілу орталығын өзгертеді, сол себепті элемент бұралып өз орнықтылығын тез жоғалтады.

Элементтердің жергілікті орнықтылықтары жанама, нормалды кернеулердің жеке әсерлерінен немесе олардың бірге әсер етулерінен жоғалтады. Элементтер өз жергілікті орнықтылықтарын серпімді немесе серпімді-созылымдылық сатыларда жұмыс істегенде жоғалтулары мүмкін. Металл конструкциялардың жергілікті орнықтылықтарын конструкцияны құрайтын жеке элементтерді өзара топсалы, серпімді және қайта біріктірілген қаңылтырлар секілді қарастыру керек.

Жергілікті орнықтылықты жоғалту кезінде ең қауіпті күш шамасы сыртқы күштердің жұмысы мен орнықтылық жоғалтатын кездегі ішкі кернеулер жұмыстарын теңестіру арқылы табуға болады. Ең қауіпті күш шамасы материалдың серпімділік қасиетіне, қаңылтыр өлшемдеріне – еніне, ұзындығына және оның шеттерінің бекітілу түрлеріне байланысты. Бойлық шетімен бекітілген ұзын қаңылтыр өз орнықтылығын толқынды бет тәрізді жоғалтады. Толқынның ұзындығы күштердің әсерлерімен қаңылтыр шетінің бекітілу түрлеріне байланысты, кернеу бірқалыпты таралғанда толқын ұзындығы қаңылтыр еніне тең. Материал серпімді жұмыс істегенде, толқын саны көп болғанда жергілікті орнықтылықты жоғалтатын ең қауіпті күш мәні:

$$N_{cr} = \frac{c\pi^2 EJ_u}{h^2} \quad (64)$$

бұл жерде:  $c$  - қиманың бекітілу түріне, кернеулердің таралуына байланысты функция;  $EJ_u = \frac{EJ}{(1-\nu^2)} = \frac{Eht^3}{12(1-\nu^2)}$  - қаңылтырдың цилиндрлік қатандығы;  $\nu$  - Пуассон коэффициенті;  $h$  және  $t$  қаңылтырдың ені (биіктігі) және қалыңдығы. Ең қауіпті кернеу:

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{ht} = \frac{c\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{h}\right)^2 = k \left(\frac{t}{h}\right)^2 \quad (65)$$

Жергілікті орнықтылық элементтің жүк көтеру қабілетін шектемес үшін, қаңылтырдағы кернеу  $\sigma_{cr}$  - ең қауіпті кернеуден аспауы қажет. Қаңылтырдың өлшемдерін және бекіту түрлерін өзгерту арқылы жергілікті орнықтылығын қамтамасыз етуге болады.

Металл конструкциялар элементтерінің жергілікті орнықтылықтарының көп тараған түрлерін қарастырамыз.

### Арқалықтар мен ұстындардың сығылатын белдеулері

Бұл белдеулер – қоставр қабырғасына бекітілген ұзына бойына бір қалыпты таралған нормалды кернеулер әсер ететін қаңылтырлар. Осындай элементтер өз орнықтылығын шеттері толқындана жоғалтады, ортасы орнықты қалады. Өйткені қабырға оның толқындануына қарсыласады.

Созылымдылық деформацияның дамуын ескермегенде (65) формуламен анықталатын ең қауіпті кернеу материалдың есепті қарсыласуына теңестіріледі  $\sigma_{cr} = R_y$ , осы шарт орындалғанда шеттері шеттелмеген арқалық шығысы (белдеу енінің жартысы) келесі шамадан аспауы керек:

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq 0,5\sqrt{E/R_y} \quad (66)$$

бұл жерде:  $b_{ef}$  - шеті шеттелмеген белдеу шығысы.

Созылымдылық деформацияның дамуын ескергенде:

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq \frac{0,11h_w}{t_w}; \quad b_{ef} \leq 0,5t_f\sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (67)$$

Ұстындардың белдеу қаңылтырларының жергілікті орнықтылықтары ұстындардың жалпы орнықтылықтарымен теңестіре қарастырылады  $\sigma_{cr} = \varphi \cdot R_y$ ,  $\sigma_{cr}$  кернеуінің кішіреюі ұстын белдеуінің шығысын көбейтуге мүмкіндік береді. Ұстындар белдеулерінің шығысы келесі формула бойынша табылады:

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq (0,36 + 0,10\bar{\lambda})\sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (68)$$

бұл жерде:  $0,8 \leq \bar{\lambda} \leq 4$  - ұстынның келтірілген иілгіштігі.

**Центрден сығылған ұстын қабырғалары** қоставрлы қималы:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq (0,36 + 0,8\bar{\lambda})\sqrt{\frac{E}{R_y}}; \quad 2,9\sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (69)$$

бұл жерде  $h_w$ ,  $t_w$  - қабырға қалыңдығы мен ені.

Центрден тыс сығылған қоставр қималы ұстынның қабырғасының бекітілуі центрден сығылған ұстындармен бірдей, бірақта оның кернеулі жағдайы ерекшелеу, өйткені әсер ететін иілу моменті қабырғадағы нормалды кернеуді азайтады.

Бұл жағдай  $\alpha$  - коэффициентімен ескеріледі:

$$\alpha = \frac{(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{\sigma_{\max}} \quad (70)$$

бұл жерде:  $\sigma_{\max}$  - қабырғаның есепті шекарасындағы пайда болатын сығатын кернеулердің үлкені, оның таңбасы - оң, және  $\varphi_e$  немесе  $c \cdot \varphi_y$  коэффициенттерін ескермей табылған мәні;  $\sigma_{\min}$  - қабырғаның қарама-қарсы жағындағы кернеу, ол өз таңбасымен қабылданады.

Центрден тыс сығылған ұстын қабырғасының жергілікті орнықтылығы  $\alpha \leq 0,5$  болғанда (69) формуламен тексеріледі, ал  $\alpha \geq 1$  артық болғанда:

$$\frac{h_{\omega}}{t_{\omega}} = 4,35 \sqrt{\frac{(2\alpha - 1)E}{\sigma_{\max} (2 - \alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\beta^2})}} \leq 3,8 \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (71)$$

$$\beta = 1,4(2\alpha - 1) \frac{\tau}{\sigma}; \quad \tau = \frac{Q}{t_{\omega} \cdot h_{\omega}}$$

бұл жерде:  $\tau$  - қарастырылып отырған қимадағы орта жанама кернеу.

$0,5 < \alpha < 1$  болғанда  $\frac{h_{\omega}}{t_{\omega}}$   $\alpha = 0,5$  және  $\alpha = 1$  мәндерінің арасынан интерполяциялау арқылы табылады.

Қоставр қималы арқалық қабырғасы белдеулермен серпімді – қатаң бекітілген, ендік бойлық қатаңдық қырларымен қатаңдатылған қаңылтыр секілді. Оған нормалды, жанама, жергілікті кернеулер жекеше және бірге әсер етулері мүмкін.

Арқалық қабырға қимасында нормалды кернеу бірқалыпты таралмайды  $\alpha = 2$ , ал ең қауіпті кернеу шамасы (65) формула бойынша табылады:

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} \cdot R_y}{\lambda_{\omega}^2} \quad (72)$$

бұл жерде:  $c_{cr}$  - қабырғаның белдеулерінде серпімді бекіту дәрежесіне байланысты қабылданатын коэффициент ( $30 < c_{cr} < 35,5$ ). Келтірілген

иілгіштікті  $\bar{\lambda} = \frac{h_{\omega}}{t_{\omega}} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$  тауып,  $\sigma_{cr} = R_y$  теңестіріп.  $c_{cr}$  - ең төменгі шамасын

алып нормалды кернеу әсерінен қабырғаның жергілікті орнықтылығын жоғалтатын келтірілген иілгіштік мәнін табуға болады  $\bar{\lambda}_\omega \geq 5,5$ , бұл қабырғаларды - «иілгіш қабырғалар» - деп, бұл секілді қабырғалы арқалықтарды - «иілгіш қабырғалы арқалықтар» - деп атайды.

Иілген арқалық қабырғасына тек жанама кернеу әсер етсе, онда оның қауіпті шамасы келесі формуламен табылады:

$$\tau_{cr} = 10,3 \cdot \frac{R_s}{\bar{\lambda}_\omega^2} \quad (73)$$

$\tau_{cr} = R_s$  теңдестігінен тек жанама кернеу әсер еткенде орнықтылығын жоғалтатын қабырға иілгіштігінің шектік мәнін табамыз  $\bar{\lambda}_\omega \geq 3,2$ .

Арқалық қабырғасы ендік қатаңдық қырларымен бекітілгенде. Ең қауіпті кернеуді келесі формуламен анықтауға болады:

$$\tau_{cr} = 10,3 \left( 1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \cdot \frac{R_s}{\bar{\lambda}_\omega^2} \quad (74)$$

бұл жерде:  $\mu$  - қарастырылып отырған белдеулер мен қатаңдық қырлар арасындағы қабырға бөлігінің үлкен жағының кіші жағына қатынасы.

Егер де қабырғада жергілікті кернеулер бар болса, олар да ең қауіпті кернеулермен салыстыра тексеріледі:

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 \cdot R_y}{\bar{\lambda}_a^2} \quad (75)$$

$c_1$  - қосымшада (ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002) келтірілген;  $\bar{\lambda}_a = \frac{a}{t_\omega} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$ ;  $a$  - арқалық қабырғасының қарастырылып отырған бөлігінің қатаңдық қырлар арасы.

Нормалды, жанама және жергілікті кернеулер бірге әсер ететін арқалық қабырғасының жергілікті орнықтылығы келесі формуламен тексеріледі:

$$\sqrt{\left( \frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}} \right)^2 + \left( \frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2} \leq \gamma_c \quad (76)$$

бұл жерде:  $\sigma = \left( \frac{M}{J_x} \right) y$ ;  $\tau = \frac{Q}{h_\omega \cdot t_\omega}$ ;  $\sigma_{loc} = \frac{F}{t_\omega \cdot l_0}$   $M$  және  $Q$  - иілу моменттерімен көлденең қиюшы күштердің бөлік бойына әсер ететін орта мәндері;  $F$  - жергілікті күштің есепті мәні;  $l_0$  - жергілікті күш таралатын ұзындық;  $y$  - бейтарап өсінен қабырғаның сығылатын шетіне дейінгі қашықтық;  $\gamma_c$  - жұмыс шарты коэффициенті.

Симметриялы қималы арқалықтың созылымдылық деформациясының дамуын ескере және  $\sigma_{loc} = 0$  болғанда, әрі келесі шарттар орындалғанда:

$\frac{A_f}{A_\omega} > 0,25$ ;  $2,2 < \bar{\lambda}_\omega < 6$  және  $\tau \leq 0,9R_s$  - қабырға мен белдеудің жергілікті орнықтылықтары бірге жоғалғанда арқалық қабырғасының жергілікті орнықтылығы келесі формуламен тексеріледі:

$$M \leq R_y \cdot \gamma_c \cdot h_\omega^2 \cdot t_\omega \cdot \left( \frac{A_f}{A_\omega} + \alpha \right) \quad (77)$$

$\alpha = 0,24 - 0,15 \left( \frac{\tau}{R_s} \right)^2 - 8,5 \cdot 10^{-3} (\bar{\lambda}_\omega - 2,2)^2$ ;  $A_f, A_\omega$  – арқалықтың белдеуінің және қабырғасының аудандары;  $\tau$  - орта жанама кернеу  $\square$  қарастырылып отырған бөліктегі  $\square$ .

### 1.3.8. Жүктер қайталана әсер ететін металл конструкциялар элементтерінің шектік жағдайларының есептелуі шаршауды тексеру

Жүктер көп қайталана әсер ететін конструкция элементтері  $\square$  мысалға кран асты арқалығы, жүк көтергіш құралдар, жұмыс алаңындағы арқалықтар, жүк түсіретін эстакада мен бункер элементтері  $\square$  өздерінің көтеру мүмкіндігінен кернеулері аққыштық шегіне жетпей-ақ айырылуы мүмкін. Сол себепті, бұл конструкциялардың шекті жағдайлары, жүк көп қайталана әсер ететінде пайда болатын шаршау шегіне тең кернеу мәндерімен анықталады. Бұл-шексіз жағдайлардың бірінші тобына жатады.

Конструкциялардың шексіз жағдайларында пайда болатын кернеулер шаршау шегімен салыстыра тексеріледі.

$$\left. \begin{aligned} \sigma &\leq aR_y \gamma_c \\ \sigma_{\max} &< \frac{R_u}{\gamma_u} \end{aligned} \right\} \quad (78)$$

бұл жерде:  $R_y$  - болаттардың уақытша қарсыласуы мен конструкция элементтерінің топтарына сәйкес қосымшада келтірілген шаршауға есепті қарсыласуы  $\square$   $\alpha$  - жүктеу циклдарының санына байланысты анықталатын коэффициент  $\square$ .

элементтердің 1 және 2 топтары үшін:

$$\alpha = 0,004 \left( \frac{n}{10^6} \right)^2 - 0,5 \left( \frac{n}{10^6} \right) + 1,75 \quad (79)$$

элементтердің 3 - 8 топтары үшін:

$$\alpha = 0,007 \left( \frac{n}{10^6} \right)^2 - 0,64 \left( \frac{n}{10^6} \right) + 2,2 \quad (80)$$

$\gamma_{\sigma\beta}$  - кернеулі жағдайдың түріне және кернеудің асимметриялық коэффициенті  $\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$ , байланысты қосымшада келтірілген коэффициент (ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002).

1.3.9. Болат конструкциялар элементтерінің мортсынғыштығын ескере беріктікке есептеу

Болат конструкцияларды ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002 бойынша, теориялық және эксперименттік зерттеулердің нәтижелері негізінде, центрден және центрден тыс созылған ең суық температуралары  $-30 \dots 65 \text{ } ^\circ\text{C}$  дейінгі аралықта салынған құрылыс элементтерін болаттың мортсынғыштығын ескере беріктігін тексереді:

$$\sigma_{\max} \leq \beta \frac{R_u}{\gamma_n} \quad (81)$$

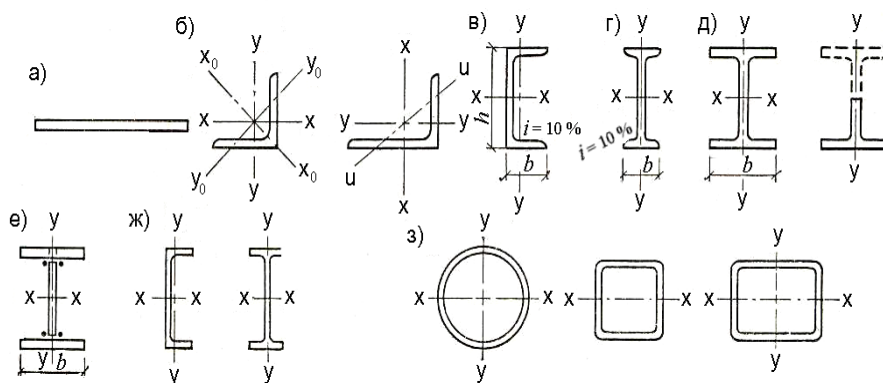
бұл жерде:  $\sigma_{\max}$  - элементтердің таза қималарында динамикалық және  $\varphi_s$  коэффициенттерсіз есептеліп табылған ең үлкен созатын кернеу  $\beta$  - конструктивтік сұлбаны, болат маркасын және пайдалану кезіндегі есепті температураны ескеретін ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002 қосымшасы бойынша анықталатын коэффициент.

### 1.3.10. Сортамент

Металлургия зауытында болат прокатталып шығарылады. Прокатталған болат екі топқа бөлінеді  $\square$  қаңылтыр болат - қалың, жұқа және әмбебап  $\square$  профилденген болат - бұрыштар, швеллерлер, қоставрлар, таврлар, құбырлар және т.б. Дайын прокатты элементтердің бар болуы және олардың механизмдер арқылы өңделуі конструкцияларды индустриялық тәсілмен даярлауға мүмкіндік береді.

Прокаттық профилдердің сыртқы сұлбасы, геометриялық сипаттамалары, ұзындық бірлігінің массасы, қамтамасыз ету шарттары мен ауытқулары келтірілген қатар -  $\square$  сортамент  $\square$  - деп аталады. Профилдер түрлерінің көптігі, бір профилді өлшемдерінің әртүрлілігі конструкцияларды тиімді жобалауға және әртүрлі конструктивтік сұлба құруға мүмкіндік береді.





Сурет 39. Прокатты профильдердің негізгі түрлері

### Болат қаңылтырлар

Болат қаңылтырлар құрылыста көп қолданылады, олардың келесі түрлері бар □

*Қалың болат қаңылтырлар.* Бұлардың қалыңдығы 4 - тен 160 мм дейін; ені 600-ден 3800 мм. Ыстықтай тартылған қаңылтар ұзындығы 6 -12 м, қалыңдығы 160 мм; қалыңдығы 1,2 ден 12 мм дейін, ені 500 - 2200 мм дейін орама түрінде шығарылады.

Қалың болат қаңылтыр, қаңылтыр конструкцияларда, бүтін жүйелі элементтерде □арқалықтарды, ұстындарда, рамаларда және т.б.□ көбірек пайдаланылады.

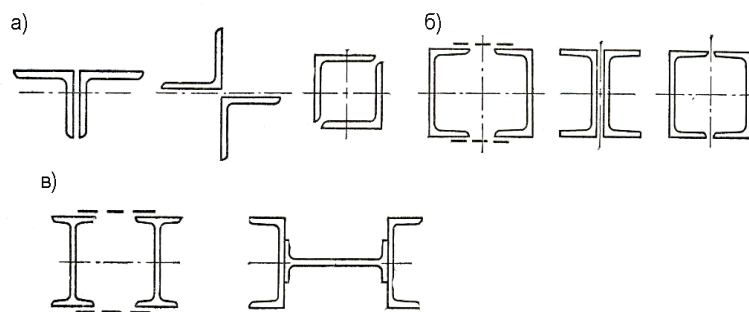
*Қалыңдығы 4мм дейін жұқа болат қаңылтырлар* суықтай және ыстықтай тартылып прокаттанылады. Суықтай тартылған болат (МЕСТ 19904-74); ыстықтай тартылған болаттан (МЕСТ 19903-74) көп қымбат. Жұқа болат қаңылтыр төбе жабындары үшін жұқа қабырғалы майыстырылған профилдерді дайындауға пайдаланылады. Суықтай тартылған цинкпен апталған оралған болаттар профилденген төсеніштер даярлау үшін қолданылады.

*Кең белдеулі амбебан болат* (МЕСТ 8200-70) төрт біліктермен прокатталатын болғандықтан шеттері тегіс болып шығады. Бұндай болаттардың: қалыңдығы 6-дан 60мм, ені 200-ден 1050мм дейін, ұзындығы 5 - тен 12м дейін. Кең белдеулі болаттарды пайдалану конструкцияларды даярлау кезінде еңбек шығынын азайтады.

### Бұрышты профилдер

Бұрышты профилдер - тең қабырғалы (МЕСТ 8509 - 72) және қабырғалары тең емес (МЕСТ 8510 - 72) етіп прокатталады.

Бұрыштар жеңіл конструкцияларда көбірек пайдаланылады. Тиімді түрлері - жұқа бұрыштар.



Сурет 40. Прокатты профильдерден шыбық қималарын үйлестіру

### Швеллерлер

Швеллер қималарының геометриялық сипаттамалары олардың нөмірлерімен анықталады. Олардың нөмірлері швеллер қабырғасының биіктігіне байланысты №5 - тен № 40 - қа дейін (МЕСТ 8240-72). Швеллерлер көп күш қабылдайтын шыбықты конструкцияларда □көпірлер, үлкен аралықты фермалар және т.б.□, ұстындарда, байланыстарда және жабын қырларында пайдаланылады.

### Қоставрлар

Қоставрлар – арқалықтар үшін негізгі профилдер, олар әртүрлі болады, әрқайсысы әр областарда пайдаланылады.

Кәдуілгі қоставрлар (МЕСТ 8239-72), биіктіктеріне сәйкес нөмірленеді, №10 - нан № 60 - қа дейін прокатталады.

Қоставрлар иілетін элементтерде □арқалықтарды□, сапалы ұстындарда және әртүрлі тіреулерде қолданылады.

Кең белдеулі қоставрлы арқалықтар үш түрлі болып прокатталады қалыптағыдай □Б□, кең белдеулі □Ш□, ұстын үшін □К□.

Жұқа қабырғалы қоставрлар (ТШ 14-2-205-76) және швеллерлер (ТШ 14-2-204-76), бұлар кәдуілгі профилдерден 14 - 20%-ке тиеді.

Жұқа қабырғалы профильдер арқалықтар алаңында, қосымша ұстындарда □фахверкаларда□, жеңіл төбе жапқыштар мен қабат жапқыштарда пайдаланылады.

### Құбырлар

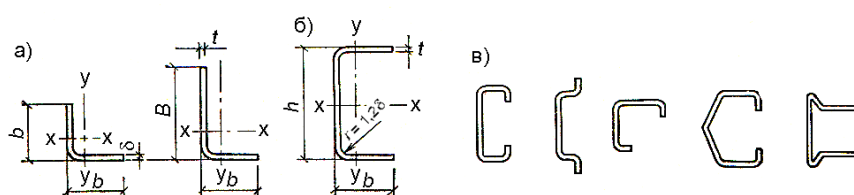
Құрылыста пайдаланылатын құбырлар ыстықтай тартылған (МЕСТ 8732-78), электр - доғамен пісірілген (МЕСТ 10704-76), электр - доғамен пісірілген тік төрт бұрышты және квадрат қималы (ТШ 36-2287-80 және ТШ 14-2-361-79).

Құбырлар радио - теледінгек конструкцияларында, агрессивті орта әсер ететін ғимараттардың жабын конструкцияларында қолданылады.

Төртбұрышты, квадрат құбырлар жеңіл жабындағы фахверктерде, терезе элементтеріндегі құрылыс конструкцияларында қолданылады.

## Суықтай майыстырылған профильдер

Суықтай майыстырылған профилдер қалыңдығы 1-ден 8мм-ге дейінгі жолақ қаңылтырлардан даярланады. Жеке тапсырыстар және металлургия зауыттарының техникалық шарттары бойынша майыстырылған сан алуан профилдер түрін алуға болады. Жеңіл ғимарат жабын конструкцияларында майыстырылған профилді қолдану металлды 10%-ке дейін үнемдеуге мүмкіндік береді.



Сурет 41. Майыстырылған профильдер түрлері

### 1.4. Металл конструкцияларын біріктіру

#### 1.4.1. Пісіріп біріктіру

Пісірудің түрлері және олардың сипаттамалары.

Металл конструкциялары негізінен пісіріп біріктіріледі. Ол басқа біріктіру түрлерін түгелдей дерлік ауыстырады. Зауытта, құрылыс алаңында қолданылады. Пісіру – конструкциялардың біріктіру сұлбаларын оңайлатады, металл шығынын азайтады, еңбек өнімділігін арттырады. Пісіріп біріктіру металл конструкциялардың су, газ өткізбейтін қасиетін сақтайды. Бұл резервуар, газгольдер, гидротехникалық құрылыстар үшін аса маңызды.

Пісірудің негізгі кемшілігі – біріктіруде қалатын қалдық кернеулер мен деформациялар, олар конструкцияларға динамикалық күш әсер еткенде, төмен температурада пайдаланғанда болатын мортсынғыштығына ықпал жасайды. Пісіруді конструкцияларды монтаждауда және көп қабатты қаңылтырларды біріктіруге пайдалану қиындау. Бұл екі жағдай пісіруді пайдалануға мүмкіндік бермей, болтты біріктірулерді қолдануға мәжбүр етеді.

Пісірудің түрлері: газбен пісіру, диффузиямен пісіру, ультрадыбыспен пісіру, жарылыспен пісіру, электр доғамен пісіру, және т.б.

Электр доғамен пісірудің түрлері: қолмен, автоматпен, жартылай автоматпен пісірулер; электрошлакпен пісіру; газ ортасында пісіру; түйістіре пісіру.

Электр доғамен қолмен пісіру өте көп пайдаланылады. Ол бірігу жігінің кеңістіктегі алған орын түрінің бәрінде, монтаждауда, механикалық әдістерді қолдану мүмкін болмаған жағдайларда, қол жеткізу қиын жерлерде қолданылады. Бірігетін металлдың аз балқуы және ток күшінің аз болуы, жұмыс өнімділігінің төменділігі, әрі қол жұмысының автоматқа қарағанда тұрақсыздығы – қолмен пісірудің кемшіліктері болып саналады. Қолмен пісіруге қажет электродтар жігіне сәйкес бірнеше түрге бөлінеді: Э-42 электрод түрі  $\sigma_{un} \geq 410 \text{ МПа} (42 \text{ кгс/мм}^2)$  металл жігін алуға мүмкіндік береді, оларды болаттың уақытша қарсыласуы  $\sigma_{un} \leq 430 \text{ МПа}$  болғанда пайдалануға болады; Э-50- электрод түрі  $\sigma_{un} \geq 490 \text{ МПа} (50 \text{ кгс/мм}^2)$  металл жігін алуға мүмкіндік береді және болаттың уақытша қарсыласуы  $\sigma_{un} \leq 520 \text{ МПа}$  болғанда пайдалануға болады. Егер электрод маркасына А әрпі қосылып жазылса, онда оны қолдана алынған пісіру жігінің ұрғандағы тұтқырлығы жоғарылайды, басқа да қасиеттері жақсарады.

Әртүрлі болат маркаларын пісіруге пайдаланылатын пісіру материалдары 7 кестеде келтірілген.

*Кесте 7 - Болаттарды пісіруге пайдаланылатын материалдар және барлық конструкциялар топтарының пісіру біріктірулерінің жік материалдарының уақытша және есепті қарсыласуы*

| Уақытша қарсыласулары $R_{un}$ пісірілетін болаттар | Автоматпен және жартылай автоматпен |                         |                       | Қолмен                         | Жік металының қарсыласулары $R_{of}$ МПа (кгс/мм <sup>2</sup> ) | Бұрыштық жік металының ығысуға есепті қарсыласуы $R_{of}$ МПа (кгс/мм <sup>2</sup> ) |
|---|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|---|--|
|   | маркалар                            |                         |                       |                                |   |  |
|   | Флюс астында                        | Көмір қышқыл газ ішінде |                       |                                |   |  |
| $R_{un} \leq 430$                                   | АН-348-А<br>АН-60*                  | СВ-08А<br>СВ-08ГА       | -                     | Э42*;<br>Э42А<br>Э46*;<br>Э46А | 410 (42)<br>450 (46)  | 190 (10)<br>200 (20)   |
| $430 < R_{un} < 520$                                | АН-47<br>АН-17М                     | СВ-08ГА*<br>СВ-10ГА*    | СВ-08Г2С<br>СВ-08Г2СЦ | Э46*;<br>Э46А<br>Э50*;<br>Э50А | 450 (40)<br>490 (50)  | 200 (20)<br>215 (21,5)   |

|                |                |          |           |               |          |            |
|----------------|----------------|----------|-----------|---------------|----------|------------|
| $520 < R_{un}$ | АН-348А**<br>* | СВ-10ГА* | СВ-08Г2С  | Э50*;<br>Э50А | 490 (50) | 215 (21,5) |
|                |                | СВ-10НМ  | СВ-08Г2СЦ |               |          |            |
|                |                | А        | СВ-08Г2С* | Э60           | 590 (60) | 240 (24)   |
|                |                | СВ-10Г2* | СВ-08Г2СЦ |               |          |            |

**Ескерту:** \*-2, 3 және 4 топтағы конструкциялар үшін, температура  $t \geq -40^{\circ}\text{C}$  болғанда, \*\* - тек бұрыштық жіктер үшін, катеттері  $k \leq 8 \text{ мм}$  кіші кезде; \*\*\* - пісіру қалыңдығы 32 мм – ден артқанда механикалық сипаттамаларын қосымша тексеруден өткізу керек.

Аздау жүктелген пісіру жігі үшін пайдаланылатын кейбір сымдар мен электродтар негізгі металл беріктігімен пара-пар беріктігі бар жік металлын береді, ал өте ауыр жүктелген пісіру жігі үшін пайдаланылатын кейбір сымдар мен электродтар металл беріктігінен артық жік металлын береді. Бұл секілді шешім – балқыған жік металлының көлемін көбейтпей біріктіру беріктігін кемітпеуге, сөйтіп пісіру материалдарын үнемдеуге, еңбек шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Флюс астында автоматпен және жартылай автоматпен пісіру диаметрлері 2 – 5 мм жалаң сымды автоматпен беру арқылы жүргізіледі.

Электр доғасы флюс астында пайда болады. Оның әсерінен флюс балқып, оның құрамындағы элементтер балқыған металлды легірлейді және оларды ауамен жанасқаннан жақсы қорғайды. Жік металлы таза, оның құрамына аздаған оттегі мен азот кіреді. Жылу сақтайтын қабат болғандықтан, балқыған металл флюс астында газдан, шлактан тазарып тығыз және таза кристалданады. Автоматпен пісіру үлкен ток күшін қолдану арқылы (600-1200 А және одан да артық) жүргізіледі, сондықтан бірігетін элементтер терең балқиды, пісіру жылдамдығы артады. Сонымен пісіру жігінің сапалылығы, еңбек өнімділігі, автоматпен пісірудің артықшылықтары болып саналады, сол себепті мүмкін болған кезде барлық біріктірулерде қолданылғаны дұрыс.

Кемшіліктеріне, бұл пісіруді тік және төбеде орналасқан жіктерде, тар жерлерде пайдаланылмауы жатады, сол себепті монтаждау кезінде қолдану шектеліп отырады.

Қысқа жіктер үшін, шлангелі жартылай автоматтар қолданылады. Пісірудің төменгі жіктер үшін флюс астында диаметрі 3 мм-ден кіші жалаң сыммен немесе жіктің кез – келген жағдайында престелген флюстері бар болат лентадан оралған құбырдағы ұсақ сыммен жүргізіледі. Пісірудің бұл түрі монтаждауда көбірек қолданылуы қажет.

Электрошлакпен пісіру – балқыта біріктірудің бір түрі, бұл тік түйіскен металл жігінің қалыңдығы 20 мм – ден артқанда қолданылады. Пісіру жалаң сыммен балқыған шлак астында жүргізіледі.

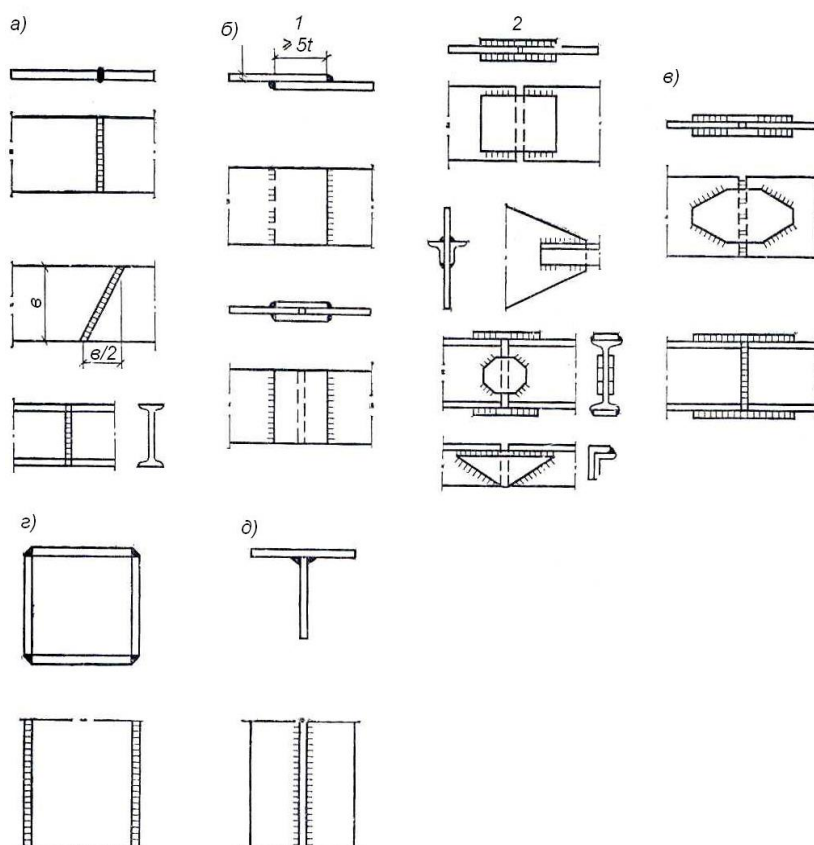
Жікті жан – жағынан мыс қаңылтырмен қоршап, оны ағынды сумен суытса, оны пісіру ваннасы – деп атайды. Бұл әдіспен алынған пісіру жігінің сапасы өте жоғары.

Көмірқышқыл газы ішінде пісіру диаметрі 1,4 – 2мм – ге тең жалаң электродпен кері полярлы ток күшімен жүргізіледі. Көмірқышқыл газы жоғары температурада болатқа әсер етіп, оны тотықтандырады, сөйтіп электрод сымы құрамындағы тотықсыздандыратындардың процентін кемітеді. Көмірқышқыл газында пісіру флюсті ұстайтын еш құралдарды керек қылмайды және жіктердің кеңістіктегі орналасуына қарамай жүргізіледі. Бірігу жігі сапалы, еңбек өнімділігі жоғары.

### Пісіру біріктірулерінің түрлері, жіктерді жіктеу және олардың сипаттамалары

#### Пісіріп біріктірулерінің түрлері

Пісіріп біріктірулері – түйістіре, айқастыра, бұрышты және таврлы болып бөлінеді (сурет 42).



Сурет 42. Пісіріп біріктірулердің түрлері  
 а - түйістіре; б – айқастыра (1 – маңдайлық; 2 – флангалы жіктер);  
 в – аралас; г – бұрыштық; д - таврлы

Түйістіре біріктірулерге элементтер шеттерімен немесе кесіктерімен біріктіріледі, бір элементі екіншісімен жалғасады. Түйістіре біріктіру ең тиімді. Өйткені жұмыс істеу кезінде кернеулер аздау шоғырланады, сапасы оңай тексеріледі. Бұндай біріктірудегі пісірілетін элементтер қалыңдығы шектелмейді, тек пісірудің түріне, қалыңдығына сәйкес пісіру шеттері өңделеді.

Айқастыра қойылған элементтер пісірілгенде – айқастыра біріктіру алынады. Біріктірудің бұл түрі – қаңылтыр, торлы, т.б. конструкцияларда қолданылады.

Айқастыра біріктірудің бір түрі – жапсырма қаңылтырды пайдалана біріктіру – ол профилді металл элементтерді біріктіруге және түйістіре біріктіруді күшейтуге қолданылады. Металл конструкцияларды түйістіре және жапсырма қаңылтырды қолдана біріктірсе "құрама біріктірулер" – деп атайды.

Айқастыра біріктіруде металл шығыны көбірек. Кернеулердің шоғырланулары күштірек. Сол себепті динамикалық жүк әсер ететін конструкцияларда қолдану аса тиімді емес.

Бұрыштық біріктірулерде пісірілетін элементтер бұрышпен орналасады. Таврлы біріктірулердің бұрыштық біріктірулерден айырмасы бір элементтің кесінді шеті екінші элемент бетіне пісіріле бекітіледі.

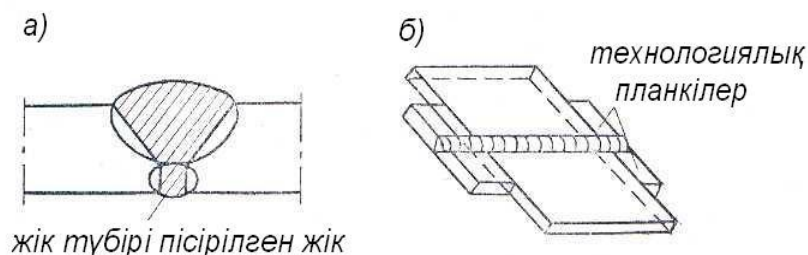
Бұрыштық және таврлық біріктірулерде бұрыштық жік қолданылады, даярлау оңай, беріктігі жоғары және тиімді.

### Пісіру жіктері

Пісіру жіктері конструктивтік белгісі, арналған орны, ұзындығы және сыртқы сұлбаларына қарай жіктеледі.

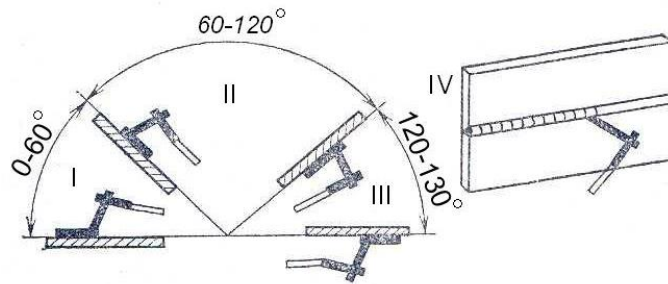
Конструктивтік белгісі бойынша жіктер түйістірілген және бұрыштық болып бөлінеді.

Жіктер жұмысшы және байланысшы, бүтін немесе үзік болып бөлінеді.



Сурет 43. Түйістірілген жіктер  
а - жік түбірі пісірілген жік, б – жұмысшы қимадан шығарылған жік (пісірілгеннен соң жолақтар кесіліп тасталады)

Жікті пісіру кезінде кеңістіктегі орнына қарап төменгі, тік, төбедегі және тік жазықтықта көлденең орналасқан – деп бөлінеді. Төменгі жікті пісіру ең оңай, механикаландыру жеңіл, сапалы жік алуға болады, сол себепті жобалау кезінде көпшілік жіктерді төменгі жағдайда пісіруді ойластыру керек. Тік, төбедегі жіктерді, тік жазықтықта көлденең жіктерді монтаждау кезінде орындайды. Оларды механикаландыру жолымен жүргізу қиын, жік сапасы төмен, сол себепті конструкцияларда қолдануды шектеу қажет.



Сурет 44. Кеңістікте жіктердің орналасуы

I – төменгі; II – тік; III – төбедегі; IV – тік жазықтықтағы көлденең

### **Пісірілген біріктірулердің жұмыс істеулері мен есептелуі**

Пісірілген біріктірулердің беріктігі – негізгі металлдың беріктігіне, жік металлының беріктігіне, біріктіру түрлері мен сұлбаларына, оларға сәйкес кернеулердің таралу түрлеріне, біріктіруге әсер ететін күштің сипатына, пісіру технологиясына байланысты.

### **Түйістірілген жікті біріктірудің жұмыс істеуі мен есептелуі**

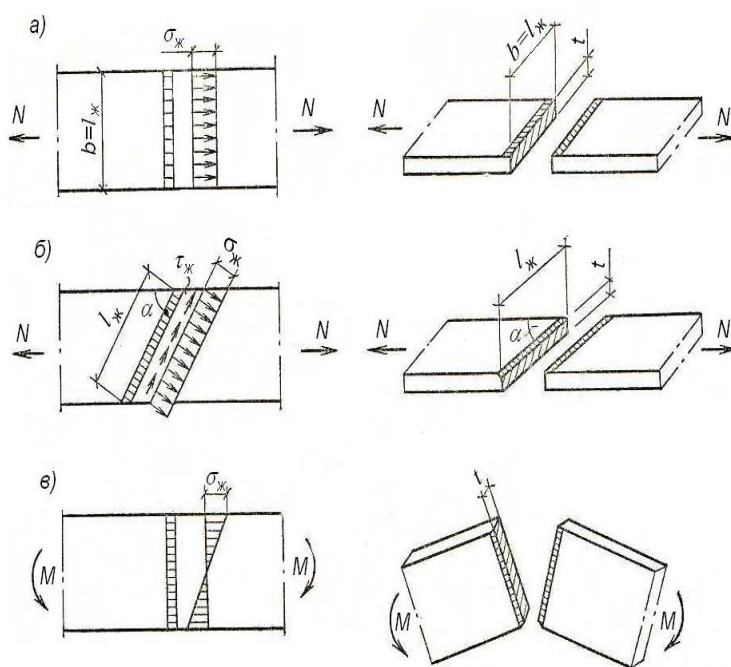
Жақсы түйістіре пісіріп біріктірілген жік басында ғана аздаған кернеулер шоғырланады. Сондықтан олар созылғанда, сығылғанда беріктіктері негізгі металл мен жік металлының беріктіктеріне байланысты. Бірігетін элементтер шеттерін өңдеу түрлері біріктірудің статикалық беріктігіне әсер етпейді, сол себепті оны есептеу кезінде ескермесе де болады.

Түйістірілген жікке центрден күш  $N$  әсер еткенде жік бойына кернеулер бірқалыпты таралады. Оның есепті қалыңдығы бірігетін элементтердің ең жұқасының қалыңдығына тең етіп қабылданады. Элементтер өсіне перпендикуляр бағытта пайда болатын жіктегі кернеу (сурет 45 б) келесі формуламен тексеріледі.



$$\sigma_{\omega} = \frac{N}{t \cdot l_{\omega}} \leq R_{\omega y} \gamma_c \quad (82)$$

бұл жерде  $N$  – есепті күш;  $t$  – есепті қалыңдық;  $l_{\omega}$  – жіктің есепті ұзындығы, егер пісіру жігінің басы мен аяғы жапсар арқылы жіктен тыс шығарылса, онда ол жіктің толық ұзындығына тең, ал егер тыс шығарылмаса, онда  $l_{\omega} = l - 2 \cdot t$ , бұл жерде  $t$  – жік қалыңдығы;  $R_{\omega y}$  – түйістіре пісірілген біріктірудің созылуға немесе сығылуға есепті қарсыласуы;  $\gamma_c$  – жұмыс шарты коэффициенті.



Сурет 45. Түйістірілген жікті біріктірудің жұмыс істеуі мен есептелуі  
а, б – көлденең күшке; в - иілуге

Қалыңдығы бойына толық балқытуға немесе түбірінен пісіруге болмайтын түйістіре біріктірілген элементтер үшін есепті қалыңдық  $0,7 \cdot t$  - тең етіп қабылдануы керек.

Түйістіре пісіріп біріктірілген жіктер үшін есепті қарсыласулары пісіру түрлеріне қарамастан сығылуға жұмыс істегенде  $R_{\omega} = R_y$  негізгі металлдың есепті қарсыласуларына тең етіп қабылданады; созылғанда егер жік сапасы физикалық әдістермен тексерілсе  $R_{\omega y} = R_y$  тең, ал тексерілмесе –  $R_{\omega y} = 0,85 R_y$  тең етіп; ығысқанында  $R_{\omega fs} = R_s$  тең етіп қабылданады. Егер түйістіре пісіріліп біріктірілген жіктің есепті қарсыласуы негізгі металлдың есепті қарсыласуынан кіші болса, онда жік ұзындығын ұлғайту үшін жікті көлбеу орналастырады. Көлбеу жіктің беріктігі егерде кесікте

$tg\alpha = 2$  болса, онда ол негізгі металл беріктігімен бірдей, сол себепті оның беріктігін есептеп тексермесе де болады.

Кейбір жағдайларда көлбеу жіктің беріктігін де есептеп тексеру қажет.

Центрден әсер ететін күшті жік өсіне перпендикуляр және жік өсіне параллель бойларында әсер ететін құрамдарға бөліп, олардан пайда болатын кернеулер құрамдарын тауып, беріктіктерін жеке-жеке тексереміз:

$$\sigma = \frac{N \sin \alpha}{t \cdot l_{\omega}} \leq R_{\omega y} \gamma_c \quad (83)$$

$$\tau = \frac{N \cos \alpha}{t \cdot l_{\omega}} \leq R_{\omega s} \gamma_c \quad (84)$$

бұл жерде:  $\sigma$  – жік өсіне перпендикуляр жазықтықта пайда болатын кернеу;  $\tau$  – жік өсіне параллель жазықтықта пайда болатын кернеу;

$l_{\omega} = \frac{b}{\sin \alpha} - 2 \cdot t$  - көлбеу жіктің есепті ұзындығы.

Иілу моменті әсер еткенде жіктегі кернеу:

$$\sigma = \frac{M}{W_{\omega}} \leq R_{\omega y} \gamma_c \quad (85)$$

бұл жерде:  $W_{\omega} = \frac{t \cdot l_{\omega}^2}{6}$  - жіктің есепті қарсыласу моменті.

Түйістіре пісірілген біріктіруге нормалды және жанама кернеулер пайда болатын болса, онда оның беріктігі келесі формуламен тексеріледі:

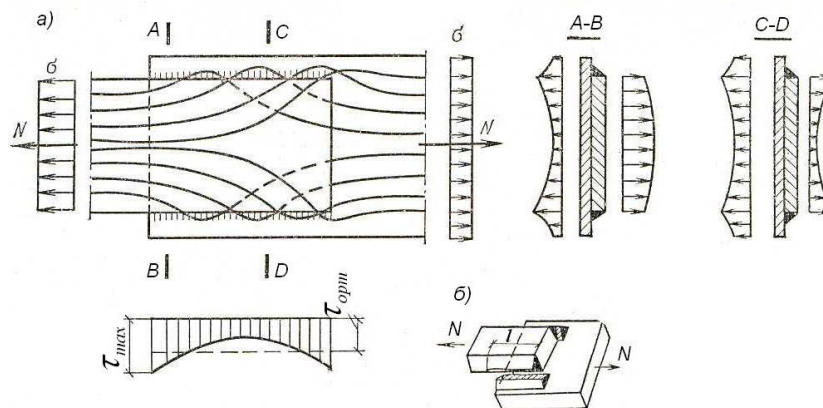
$$\sqrt{\sigma_{\omega x}^2 + \sigma_{\omega y}^2 - \sigma_{\omega x} \sigma_{\omega y} + 3\tau_{\omega xy}^2} \leq 1,15 R_{\omega y} \gamma_c \quad (86)$$

бұл жерде:  $\sigma_{\omega x}$ ,  $\sigma_{\omega y}$  – пісірілген біріктіруде өзара перпендикуляр жазықтықтарда пайда болатын нормалды кернеулер;  $\tau_{\omega xy}^2$  - сол жердегі жанама кернеу.

### **Бұрыштық жікті біріктірудің жұмыс істеуі және есептелуі**

Бұрыштық жікпен біріктіру айқастыра, маңдайша немесе жапсарлас түрлерінде орындалады. Жапсарлас жіктер біріктірілетін элементтер жиегінде әсер ететін күшке параллель бағытта орналасады да, біріктірудің екі бойына кернеулер біркелкі таралмайды. Кернеулер жіктің ұзына бойына да біркелкі таралмайды (сурет 46). Жік бойының бірқалыпты

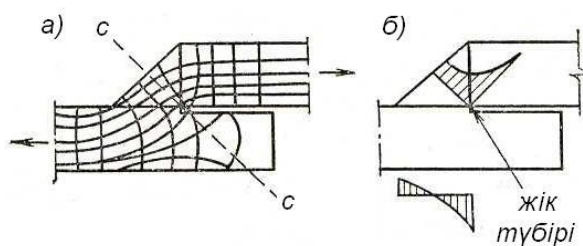
жұмыс істеуін қамтамасыз етуі үшін жік ұзындығы  $4k_{\omega}$  немесе 40мм – ден артық және  $85\beta_f \cdot R_{\omega f}$  ( $85\beta_z \cdot R_{\omega z}$ ) – тен кіші етіп қабылдануы қажет. Жіктің үзілуі (қирауы) егер жік металының беріктігі негізгі металл беріктігінен артық болғанда, онда негізгі металдың жік металымен бірге балқыған шекарасынан басталуы мүмкін.



Сурет 46. Флангалы жіктер

а - флангалы жікте кернеулердің таралуы; б – жіктің қирауы

Маңдайша жік әсер ететін күшті бірігетін элементтер ені бойына бірқалыпты таратқанмен, бірақ оның қалыңдығы бойына біркелкі тарата алмайды (сурет 47). Әсіресе, жік түбіріндегі кернеу мәні орташа мәніне қарағанда көп үлкен. Біріктіруде кернеулердің шоғырлануын азайту үшін – пісіріліп жалғасатын бөліктер бетін механикалық өңдеуден өткізеді және жіктің көлбеулігін арттырады.



Сурет 47. Маңдайша жіктің жұмыс істеуі. а - күш сызықтарының траекториясы; б – кернеулердің шоғырлануы

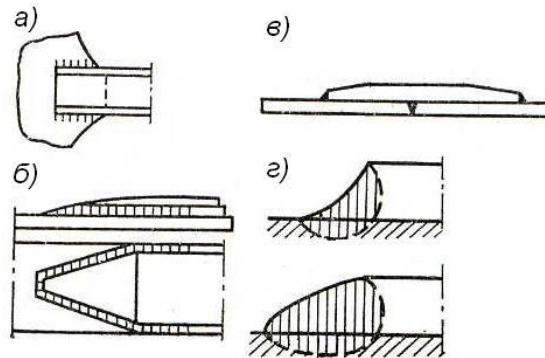
Маңдайша жіктердің беріктігі де жапсарлас жіктер тәрізді екі қима бойына тексеріледі.

Бұрыштық жіктердің шын жұмыстары өте күрделі болғандықтан, олар тәжірибе жүзінде жақсы нәтижелер беретін формулалармен есептелінеді. Маңдайша жікті, жапсарлас жікті біріктірулер өздерінің жұмыс істеу ерекшеліктеріне қарамастан, бірдей формулалармен есептеліп тексеріледі. Күш соза немесе сыға әсер еткенде (сурет 48):

$$\frac{N}{\beta_f \cdot K_f \cdot l_{of}} \leq R_{of} \cdot \gamma_{of} \cdot \gamma_1$$

$$\frac{N}{\beta_z \cdot K_f \cdot l_{of}} \leq R_{fz} \cdot \gamma_{of} \cdot \gamma_c \quad (87)$$

бұл жерде:  $k_f$  – жік катеті;  $\beta_f, \beta_z$  – жіктің балку тереңдігін көрсететін коэффициенттер.



Сурет 48. Жіктердегі кернеулердің шоғырлануын кішірейту шаралары  
 а - листтың жайлап өтуі; б – листтың ұшын кесу және өңдеу;  
 в – жапсырмаларды острожкалау; г – жік бетін өңдеу

Олар пісірудің түрлеріне, жіктің кеңістіктегі орналасқанына байланысты аққыштық шегі  $\sigma_m > 580 \text{ МПа}$  болаттар үшін 8-кестеге сәйкес қабылданады, ал болаттың аққыштық шегі  $\sigma_m > 580 \text{ МПа}$  болғанда пісірудің түрлеріне, жіктің орналасқанына, пісіруге қолданылған сымдардың диаметрлеріне қарамай  $\beta_f = 0,7$  және  $\beta_z = 0,7$  етіп қабылданады;  $\gamma_{of}, \gamma_{oz}$  – жіктің жұмыс шарты коэффициенті I<sub>1</sub>, II<sub>2</sub>, III<sub>3</sub> климат аудандары үшін егер жік металының мөлшерлі қарсыласуы  $R_{omin} = 410 \text{ МПа}$  болғанда,  $\gamma_{of} = 0,85$ ;  $R_{of}, R_{oz}$  – жік металының және негізгі металдың бірге балқыған шекарасының есепті қарсыласулары.

Пісірілген бұрыштың жікті біріктірулердің қай қимамен есептелгенін анықтау үшін  $\beta_f \cdot R_{of}$  және  $\beta_z \cdot R_{oz}$  – өзара салыстыру керек, олардың ең кішісі бойынша есептеу қажет.

Көбінде жік катетін алдын-ала қабылдап, жік ұзындығын анықтау оңайырақ:

$$l_{of} = \frac{N}{k_f (\beta_f R_{of}) \gamma_{wf} \gamma_c} + 1; \quad l_{oz} = \frac{N}{k_f (\beta_z R_{oz}) \gamma_{wz} \gamma_c} + 1 \quad (88)$$

Егер (88) формула бойынша анықталған жік ұзындығы  $85\beta_f \cdot R_{uf} < (85\beta_z \cdot R_f)$  –тен артық болғанда, онда оның ұзындығы емес катетін анықтау қажет (егер  $\beta_f \cdot R_{of} < \beta_z \cdot R_{of}$  болғанда)

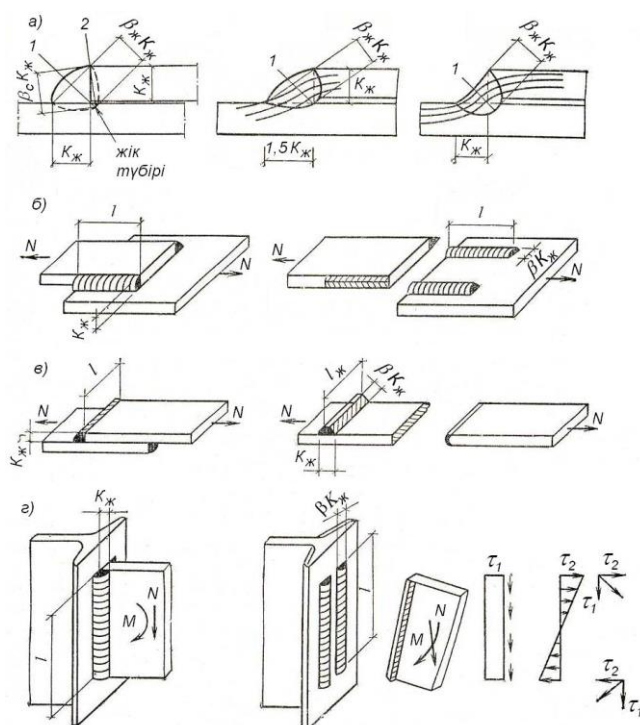
$$k_f = \left(\frac{1}{\beta}\right) \sqrt{\frac{N}{85R_{of} \cdot \gamma_f}} \quad (89)$$

Бұрыштық жікке өстік күшпен иілу моменті бірге әсер еткенде, жік металы бойынша беріктігі (сурет 49) келесі формуламен тексеріледі:

$$\sqrt{\left(\frac{N}{2\beta_f \cdot k_f \cdot l_\omega}\right)^2 + \left(\frac{6M}{2\beta_f \cdot k_f \cdot l_\omega^2}\right)^2} \leq R_{of} \gamma_{of} \gamma_c \quad (90)$$

Жікпен бірге балқыған негізгі металл шекарасы бойынша:

$$\sqrt{\left(\frac{N}{2\beta_z \cdot k_f \cdot l_\omega}\right)^2 + \left(\frac{6M}{2\beta_z \cdot k_f \cdot l_\omega^2}\right)^2} \leq R_{oz} \gamma_{oz} \gamma_c \quad (91)$$



Сурет 49. Бұрыштық жікті біріктірудің жұмыс істеуі  
 а - жіктің есепті биіктігі; б – флангалы жік; в – маңдайлық жік;  
 г – қиюға және июге жұмыс істейтін бұрыштық жік  
 1 – жік бойынша; 2 – балқыту шегінде

Кесте 8.

Бұрыштық жіктің балку тереңдігін көрсететін коэффициенттер

| Пісіруде қолданылатын сым диаметрлері $d$ мм болғандағы пісіру түрлері | Жіктің орналасуы                               | Коэффициенттер         | Жік катеттерінің мәніне сәйкес $\beta_f$ және $\beta_z$ коэффициенттері |             |            |            |
|--|--|------------------------|---|-------------|------------|------------|
|  |  |                        | 3 – 8   | 9 – 12      | 14 – 16    | 3 – 18     |
| $d = 3 - 5$ мм автоматпен  | қайық тәрізді                                  | $\beta_f$<br>$\beta_z$ | 1,1<br>1,15   |             |            | 0,7<br>1,0 |
|  | төменгі  | $\beta_f$<br>$\beta_z$ | 1,1<br>1,15   | 0,9<br>1,05 |            | 0,7<br>1,0 |
| $d = 1,4 - 2$ мм автоматпен және жартылай автоматпен                   | қайық тәрізді                                  | $\beta_f$<br>$\beta_z$ | 1,1<br>1,15   | 0,9<br>1,05 | 0,8<br>1,0 | 0,7<br>0,7 |
|  | төменгі  | $\beta_f$<br>$\beta_z$ | 0,9<br>1,05   | 0,8<br>1,05 | 0,7<br>1,0 |            |
| $d < 1,4$ мм қолмен, жартылай автоматпен (түйіршікті сымдармен де)     | қайық тәрізді төменгі, тік, көлденең, төбедегі | $\beta_f$              |   |             | 0,7        | 0,7        |
|  |  | $\beta_z$              |   |             | 1,0        | 1,0        |

Симметриясы жоқ профилдерді бұрыштық жіктермен бекіткенде, сыртқы күштің әсер ететін сызығы біріктірудің ауырлық центрі арқылы өтуі керек, сол үшін жік ауданы одан өске дейінгі қашықтыққа кері пропорционал шамада орналасады (сурет 50).

Сонымен жалпы керек жік ауданы:

$$A_{\omega} = (\beta_f \cdot k_f)_{\min} l_{\omega} = \frac{N}{R_{\omega} \gamma_{\omega} \gamma_c} \quad (92)$$

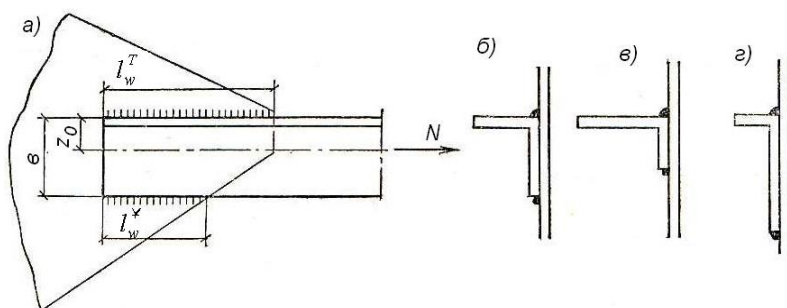
Бұрыш түбіндегі жік ауданы:

$$A_{\omega}^0 = \frac{A_{\omega} \cdot (b - z_0)}{b} \quad (93)$$

Бұрыш ішіндегі жік ауданы:

$$A_{\omega}^y = A_{\omega} \frac{z_0}{b} \quad (94)$$

бұл жерде:  $b$  – бұрыш ені;  $z_0$  – бұрыш түбінен ауырлық центріне дейінгі ара қашықтық.



Сурет 50. Бұрыштарды біріктіру

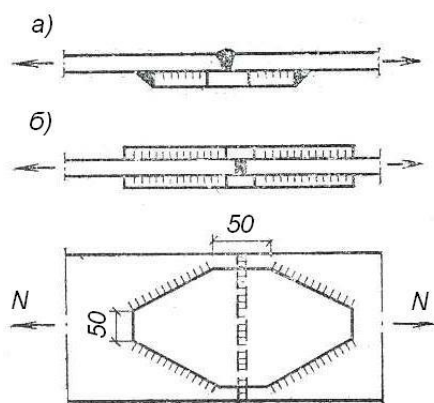
а - жіктердің ұзындығы; б – тең қабырғалы бұрыштар үшін;  
в, г – қабырғалары тең емес бұрыштар үшін

Бұрыш түбінде және үшінде жік катеттері бірдей болса, онда жік аудандарының қатынастары олардың ұзындықтарының қатынастарына тең. Тең қабырғалы бұрыштар үшін  $l_{\omega}^0 \approx 0,7 \sum l_{\omega}$ ;  $l_{\omega}^y = 0,3 \sum l_{\omega}$ , қабырғалары тең емес бұрыштар үшін  $l_{\omega}^m = 0,75 \sum l_{\omega}$ , немесе  $l_{\omega}^m = 0,6 \sum l_{\omega}$ .  $l_{\omega}^7 = 0,25 \sum l_{\omega}$  немесе  $0,4 \sum l_{\omega}$ .

### Құрама біріктірудің жұмыс істеуі және есептелуі

Түйістірілген жікті біріктірулердің беріктігі қамтамасыз етілмеген кезде, олар жапсырма қаңылтырмен күшейтіледі. Бұл тәрізді конструктивтік шешім аса тиімді емес, өйткені қиманың қалындаған жерінде кернеулер шоғырланады, соған қарамастан, беріктігі негізгі металл беріктігімен бірдей біріктіруді жобалау қажет кезде қолданылады.

Кернеулердің шоғырлануларын азайту үшін бұрыштары пісірілмеген ромба тәрізді жапсырма қаңылтырлар пайдаланылады. Жапсырма қаңылтырларды екі жақтан қойған дұрыс, өйткені тек бір жағынан қойылған жапсырма қосымша иілу моментін тудырады (сурет 51).



Сурет 51. Жапсармалармен бұрыштық жіктерді күшейту  
*a* - біржақты; *б* – екіжақты

Екі жапсырма қолданылған құрама біріктірудің түйістірілген жігіндегі кернеу келесі формуламен тексеріледі:

$$\sigma = \frac{N}{A_n + \sum A_{жс}} \leq R_{\omega y} \gamma_c \quad (95)$$

бұл жерде:  $A_n$  – біріктірілген элементтер қимасының ауданы;

$\sum A_{жс}$  – жапсырма аудандарының қосындысы;

$R_{\omega y}$  – тік жіктің созылуға және сығылуға есепті қарсыласуы.

Жапсырмаға әсер ететін күш шамасын жапсырманың бұрыштық жіктері қабылдауы керек, оның ұзындығы келесі формуламен анықталады:

$$\Sigma l_{\omega} = \frac{\Delta N}{(\beta_f \cdot R_{\omega f})_{\min} \cdot k_f \cdot \gamma_{\omega f} \cdot \gamma_c} \quad (96)$$

Құрама біріктірудің есептелуі жуық шамамен жүргізіледі, өйткені бұрыштық жіктің серпімділік модулі тік жікке қарағанда аздау, сол себепті тік жікке әсер ететін күш шамасы жапсырма жігінде әсер ететін күшке қарағанда көбірек.

### Динамикалық және вибрациялық күштер әсер ететін пісірілген біріктірулердің жұмыс істеуі және есептелуі

Конструкциялардың мортсынғыштыққа төзімділігін ескергендегі беріктігінің жалпы заңдылықтары пісірілген біріктірулер үшін сақталады. Пісірілген біріктірулерде кернеулердің шоғырлануы, қалдық кернеулермен қосылып конструкциялардың мортсынғыштыққа, төзімділігіне көбірек әсер етеді. Конструкциялардың төзімділігі мен мортсынғыштығы пісірілген біріктірулердің түрлеріне, жік сұлбаларына қатты байланысты.



Түйістіре пісіріп біріктірілген конструкцияларда технологиялық жапсырманы жік шетін пісірілетін элементтер шетіне шығарылса, олардың динамикалық күштерге төзімділігі мен мортсынғыштығы негізгі металлдікіндей, ал егер жік түбінен пісірілмесе, оның механикалық сипаттамалары бірнеше есеге азайып кетеді.

Бұрыштық жікті біріктірулердің шаршау шегі түйістірілген біріктірулерге қарағанда аз. Сол себепті, вибрациялық жүк әсер ететін біріктірулерде бұрыштық жіктің тек жақсартылған сұлбалары ғана қолданылады (көлбеу, ойыстырылған, беті өңделген, т.б.).

$K$  – тәріздес жіктердің шаршау шегі – басқа бұрыштық жіктерге қарағанда артықтау, ал түйістірілген біріктіруден кемдеу.

Дәл осындай беріктік – таврлы екі жақ бұрышты жігі бар автоматпен пісірілген қабырғасы толық балқыған біріктірулерге тән. Жіктегі пісірілмеген жерлер мен ақаулар біріктірудің шаршау шегіне қатты әсер етеді, сол себепті жіктерді тығыз етіп, автоматпен жүргізу қажет. Сонымен, вибрациялық әсер ететін конструкцияларды біріктіру үшін автоматты пісіруді қолдану керек.

Жік металының соққандағы тұтқырлығы МЕСТ 9467 – 75 – пен анықталады, Э42 және Э46 электродтары үшін  $80 \frac{Дж}{см^2}$ , ал Э42 және Э50 үшін –  $140 \frac{Дж}{см^2}$ . Пісіріп біріктірілген элементтер жігінің термиялық әсер еткен аймақтарында соққандағы тұтқырлығы бірдей емес, қатты суыған үлкен түйіршікті құрылымдар үшін олардың мәндері ең төмен. Аязда пісірілген біріктірулердің соққандағы аязда пісіру үшін арнайы технология қабылдау керек.

Конструкциялардың шаршау шегін арттыру үшін оны алдын-ала мөлшерден артық жүкпен жүктеп "шынықтыру және таврлы жіктерді" толық балқыту қажет (мысалға, кран асты арқалық белдеуі).

Пісірілген біріктірулердің төзімділігін және мортсынғыштығын алда көрсетілген формулалармен тексереді, тек жіктің есепті қарсыласулары орнына  $R_{ay}, R_{af}, R_{az}, \sigma_{max}$  – ды қою керек.

### **Пісірілген біріктірулерге қойылатын конструктивтік талаптар**

Пісіріп біріктіру кезінде тиімді жүк түрлерін, пісіруді механикалық әдістермен жүргізуді ойластыру қажет.

Пісірілген біріктірулерде пайда болатын кернеулер мен деформациялар әсерін пісіру жік катетінің ең кіші шамасына тең етіп қабылдап, азайтуға болады.

Түйістіріле біріктірілген жік қалыңдығы олардың ең жұқасының қалыңдығына тең етіп қабылданады. Пісіріп біріктірілетін элементтер үшін бұрыштық жіктің ең кіші шамасы 9 – кестеде келтірілген, олар  $k_f < 1,2 \cdot t$  етіп қабылдануы керек (бұл жерде  $t$  - пісірілген элементтерінің ең жұқасының қалыңдығы).

Прокаттық профилдердің шеттері дөңгелектелген, бұл жақтан пісірілген жіктің ең үлкен катеті белдеу қалыңдығынан 2мм кіші етіп қабылдануы қажет.

Қолмен пісірілгенде бір жүргізіліп өтетін катеті 8мм-ден артпауы керек.

Кесте 10.

Бұрыштық пісіру жіктерінің ең кіші катеттері

| Біріктіру түрлері  | Пісіру түрлері                      | Пісірілген болаттың аққыштық шегі R, МПа | Пісірілген элементтердің қалыңдығына байланысты жіктердің ең кіші катеттері, мм |        |         |         |         |         |         |
|--|-------------------------------------|--|---|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
|  |                                     |  | 4 – 5   | 6 – 10 | 11 – 16 | 17 – 22 | 23 – 32 | 33 – 40 | 41 – 80 |
| Екі жақты бұрыштық жікті тавр, айқастырылған және бұрыштық | Қолмен                              | < 430 МПа                                | 4   | 5      | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
|  |                                     | 430 – дан 580                            | 5   | 6      | 7       | 8       | 9       | 10      | 12      |
|  | Автоматпен және жартылай автоматпен | < 430 МПа                                | 3   | 4      | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       |
|  |                                     | 430 – дан 580                            | 4   | 5      | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
| Бір жақты бұрыштық жікті тавр                              | Қолмен                              | < 380 МПа                                | 5   | 6      | 7       | 8       | 9       | 10      | 12      |
|  | Автоматпен және жартылай автоматпен |  | 4   | 5      | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |

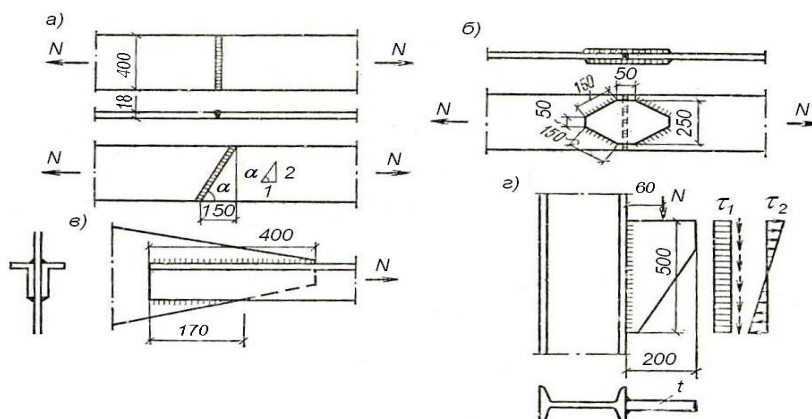
Пісірілгенде пайда болатын кернеулер әсерін азайту үшін, айқастыра жалғастырылған элементтердің айқасу ұзындығы бес қалыңдықтарынан артық болуы керек.

Уақытша қарсыласуы болаттар қолданылған конструкцияларға статикалық жүктер әсер етсе, онда бұрыштық жік катеттері қатынасы 11 тең етіп қабылданады.

Динамикалық немесе вибрациялық жүктер әсер ететін конструкцияларда қолданылған болаттың уақытша қарсыласуы болғанда кернеулердің шоғырлануын азайту үшін катеттер қатынастары 1 : 1,5 көлбеу бұрыштық жіктер қолданылады, жіктің ұзынырақ катеті күш бағытымен сәйкес.

## Пісірілген біріктірулерді есептеу мысалдары

**1 – мысал.** Берілгендері: пісіру – қолмен электродоғамен жүргізілген. Жік сапасы көзбен тексерілген. Жолақ болаттарды түйістіре пісіріп біріктірілген (сурет 52). Жолақ мөлшері –  $18 \times 400$  мм; болат маркасі – ВСтЗсп5-1,  $R = 240 \text{ МПа} = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ ; созатын күш  $N = 1500 \text{ кН}$ ; электрод – Э42А;  $R = 0,58R = 204 \text{ МПа} = 20,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ .



Сурет 52. Мысал.

а - түйістірілген жік; б – аралас біріктіру; в – бұрыштарды фасонкаларға біріктіру; г – ұстынға қабырғаларды біріктіру

Пісіру жігі технологиялық жапсырмалар қолданып түйістірілген элементтер шеттеріне шығарылған.

$$\sigma = \frac{N}{t \cdot l_{\omega}} = \frac{1500}{1,8 \cdot 40} = 20,83 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > 20,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Пісіру жігіндегі кернеу (95) формуламен анықталып тексеріледі: кернеулігі  $+2,15\% < 5\%$

### Біріктірудің беріктігі жеткілікті

$$\text{Созатын күш } N = 1600 \text{ кН болғанда } \sigma = \frac{1600}{1,8 \cdot 40} = 22,22 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > 20,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Кернеулігі  $+8,9\% > 5\%$ , сондықтан пісіру жігінің сапасын физикалық әдіспен тексеру, не катеттер қатынастарын 2 : 1 тең етіп көлбеу жік қолдану керек. Осы шарттар орындалса, пісірілген біріктірудің беріктігі негізгі металл беріктігімен тең болады.

**2 – мысал:** 1 мысалдағы келтірілген жолақ болаттарды құрама біріктіру ретінде қарастырып есептеу.

Түйістірілген жік қималары  $6 \times 300$  мм екі ромбы тәріздес жапсарлармен күшейтілген (сурет 52).

(90) формуламен түйістірілген жіктегі кернеуді анықтаймыз.

$$\sigma = \frac{N}{A_n + \sum A_{жс}} = \frac{1600}{1,8 \cdot 40 + 2 \cdot 30 \cdot 0,6} = 14,81 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 20,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Әр жапсармалардағы күш  $N = \sigma \cdot A_{жс} = 14,81 \cdot 30 \cdot 0,6 = 266,58 \text{ кН}$

Жапсарманы қолмен Э42 электродты пайдаланып  $k = 6$  мм - тең етіп жүргіземіз.

Қай қимамен тексеру керек екенін анықтаймыз  $\beta_f = 0,7$ ; 8 – кесте бойынша  $\beta_z = 1,0$ ;  $R_{оф} = 1,55 \frac{410}{1,25} = 180 \text{ МПа}$  бұл жердегі 1,25 - материал бойынша сенімділік коэффициенті ал  $R_{оэ} = 0,45 R_{ин} = 0,45 \cdot 365 = 164,25 \text{ МПа}$  – жік материалы бойынша;  $\beta_z R_{оэ} = 3 \cdot 164 = 164 \text{ МПа}$  – жік металымен бірге балқыған негізгі металл шекарасы бойынша.

Есептеуді жік металының беріктігін тексеру арқылы жүргіземіз.

(96) формула бойынша жапсырманы бекітетін бұрыштық жіктің ұзындығын анықтаймыз.

$$l_{\omega} = \frac{N}{k_f (\beta_f R_{оф})_n \gamma_{оф} \gamma_c} = \frac{266,58}{2 \cdot 0,6 \cdot 12,6} = 17,63 \text{ см}$$

Бұл жердегі 2 жапсармалар саны.  $l_{\omega 1} = 17,63 \text{ см} + 1 = 18,63 \text{ см}$ ,  $l_{\omega} = 19 \text{ см}$  етіп қабылдаймыз.

**3 – мысал.** Берілгендері: Тең қабырғалы екі болат бұрышты түйін қаңылтырына біріктіруді есептеу керек. Бұрыш –  $50 \times 50$ ; Болат маркасі-ВСт3сп5-1; түйін қаңылтырының қалыңдығы – 6мм; пісіруді жартылай автоматпен жіктің төменгі жағдайында жүргіземіз; электрод маркасі Св-08А; бұрыш түбіндегі катет = 6мм; бұрыш ұшындағы катет = 4 мм;  $0,9 = \beta_f$  1,05 – 1.3 кесте бойынша;  $N = 50 \text{ кН}$ .

$$R = 0,9 \cdot 180 = 162 \text{ МПа} \leq 1,05 / 164 = 172 \text{ МПа}.$$

Есептеуді жік металының беріктігін тексеру арқылы жүргіземіз (сурет 52). (88) формула бойынша:

$$l_{\omega} = \frac{NK^T}{k_f (\beta_f R_{оф})_n \gamma_{оф} \gamma_c} + 1 = \frac{250 \cdot 0,7}{2 \cdot 0,6 \cdot 16,2 \cdot 1 \cdot 1} + 1 = 10 \text{ см}$$

$$l_{\omega} = \frac{N}{k_f (\beta_z R_{оэ})_n \gamma_{оэ} \gamma_c} + 1 = \frac{250 \cdot 0,3}{2 \cdot 0,4 \cdot 16,2 \cdot 1 \cdot 1} + 1 = 6,78 = 7 \text{ см}$$

**4 – мысал.** Берілгендері: қоставрлы ұстынға қатаңдық қырын пісіріп біріктіруді есептеу керек. Болат маркасі – ВСт3сп5-1;  $N = 800 \text{ кН}$  – күш эксцентрицитеттегі  $e = 6 \text{ см}$  әсер етеді; қатаңдық өлшемдері  $10 \times 20 \times 500 \text{ мм}$ , ол ұстынғы Э42 электродты пайдаланып қолмен пісірілген жіктермен біріктіріледі;  $k = 10 \text{ мм}$ ;  $l = 45 - 1 = 49 \text{ см}$  – тең етіп қабылдаймыз.

$R = 0,7 \cdot 180 = 12,6 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < R_b = 16,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$ . Тексеруді жік металы бойынша жүргіземіз.  $\frac{N}{2\beta_f k_f l_w} = \frac{800}{2 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 49} = 11,66 \text{ кН/см}^2$

$$\frac{3Na}{\beta_{ff} k_f e^2} = \frac{3800 \cdot 6}{0,1 \cdot 1 \cdot 49^2} = 8,56 \text{ кН/см}^2,$$

$$\sqrt{11,66^2 + 8,56^2} = 14,46 \text{ кН/см}^2 < R_{of} = 18 \text{ кН/см}^2$$

Жік беріктігі қамтамасыз етілген

#### 1.4.2. Болтты және тойтарма шегелі біріктірулер

Конструкцияларды болтпен біріктіру пісіруден ерте қолданылған. Құрылыстағы металл конструкцияларын монтаждауда болтты біріктіру кең қолданылады. Өйткені, ол қарапайым, әрі сенімді.

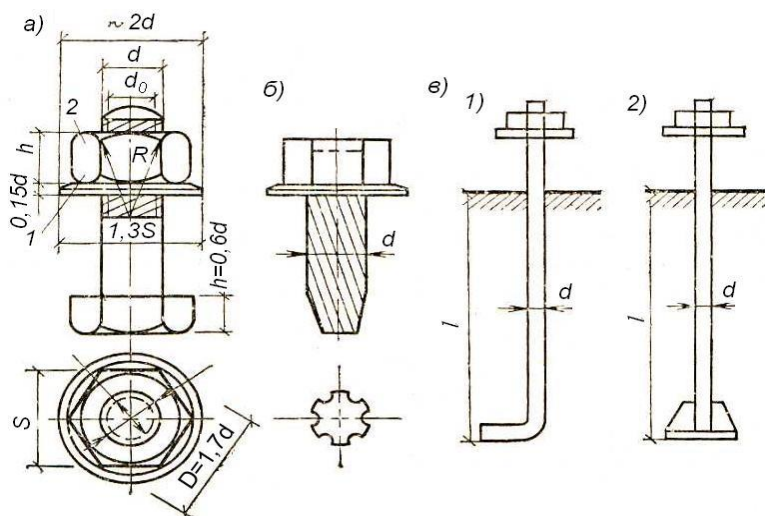
Болтты біріктірудің кемшіліктері: жапсырма металл қолданылатындықтан металл шығыны көбейеді, болтты орналастыру үшін негізгі металл тесіледі, сөйтіп қиманың таза ауданы азаяды, ол металл шығынын арттырады.

Құрылыс конструкцияларда дәлдігі дөрекі, қалыптағыдай және дәлдігі жоғары болттар, беріктігі аса жоғары, өзі тесетін және қарнақ болттар қолданылады. Конструкцияларды біріктіретін болттардың басы, жылтыр денесі, бұрандалы бөлігі бар білік болтқа тығырық кигізіліп гайкамен бұрап бекітіледі (сурет 53).

Дәлдігі дөрекі (МЕСТ 15 589-70) және қалыптағыдай (МЕСТ 7798-70) болттар өздерінің негізгі диаметрлерінен ауытқуларымен бөлінеді. Диаметрлері  $d \leq 30 \text{ мм}$ -ден кіші дәлдігі дөрекі және қалыптағыдай болттардың диаметрлерінің ауытқулары  $1 \text{ мм}$  және  $0,52 \text{ мм}$ -ге дейін жетулері мүмкін. Болттарды ыстықтай немесе суықтай шығарылған көміртекті, кей кезде термиялық өңдеуден өткен болаттардан даярлайды. Даярлау процесстерінде, болаттардың беріктіктеріне байланыста болттар бірнеше классқа 4,6-дан 8,8 дейін бөлінеді (10-кесте). Болт беріктіктері сандармен белгіленеді. Бірінші санды 10-ға дейін көбейтсе материалдың уақытша қарсыласуын  $(R_{un}) \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ , ал екі сандарды көбейтсе аққыштық шегін

$(R_y) \frac{kH}{cm^2}$  береді. Болттар біріктірулерде диаметрлерінен 2 – 3мм артық тесіктерге қойылады. Ал тесіктерді элементтерді бұрғылап немесе ойып даярлайды. Элементтердегі тесіктер диаметрлерінің болт диаметрлерімен бірдей болмағандықтан, оларды тығыз орналастыру мүмкін емес, сондықтан біріктірудің бұл түрі "С" тобына жатады. Бұл біріктірулерде болттар оңай орналасады, бұл олардың артықшылықтары болып саналады. Болттардың тесіктерге тығыз орналаспаулары біріктірулердің тез ығысуына, деформациялануына, сөйтіп біріктірулердегі болттардың әртүрлі жұмыс істеулеріне себептерін тигізеді. Жоғарыда келтірілген болттарды (әсіресе дәлдігі дөрекі) аққыштық шегі 380МПа-дан артық болттар қолданылған конструкцияларды біріктіруге, жауапты біріктірулерде пайдалануға болмайды. Олар – монтаждау кезінде, болттар созылуға жұмыс істейтін біріктірулерде немесе болт бекітетін элемент ретінде пайдаланылатын кезінде қолданылады.

Дәлдігі жоғары болттар (МЕСТ 7805-78) көміртекті болаттардан даярланады, олардың беріктік класстары дәлдігі қалыптағыдай болттармен бірдей.



Сурет 53. Болттардың түрлері

*a* - шайбалы (1) және гайкалы (2) болт; *б* - өзі кесетін;  
*в* – іргетас болттары: 1 -  $d \leq 36\text{мм}$ , 2 -  $d > 30\text{мм}$

Болттың бұрандасы жоқ денесі жонылады және таза цилиндрлік сұлбалы болады. Бұл тәріздес болттар орналасатын тесіктердің диаметрлерінің ауытқулары = 0,3мм-ден артпауы керек (болттар диаметрлерінің плюстік ауытқулары мен тесіктер диаметрлерінің минустік ауытқулары болмауы керек), бұл талаптар арнайы құралмен (кондуктор) іске асады, жиналған элементтерде диаметрлері жобадағыдан кіші бірінші тесік бұрғылап тесіледі, содан кейін екінші рет жобадағы тесік диаметріне

бұрғылап жеткізіледі – біріктірудің бұл түрі - "В" тобына жатады. Бұндай біріктірулерде болттар тесіктерге тығыз орналасады, ығыстырғыш күштерге жақсы қарсыласады, деформацияланулары аздау, бірақ біріктірулердегі элементтерді жәй қысатын болғандықтан, беріктігі аса жоғары болттарға қарағанда біріктірулер жұмыстары нашарлау. Болттарды даярлау, орнату қиын болғандықтан оларды іс жүзінде қолдану азырақ. Беріктігі аса жоғары болттар (МЕСТ 22 353 – 77 , МЕСТ 22 356 – 77) легірленген болаттардан даярланып, термиялық өңдеулерден өтеді (11 – кесте). Беріктігі аса жоғары болттардың дәлдіктері қалыптағыдай өз диаметрлерінен артық тесіктерге орналастырылады, олардың гайкалары кілтпен бұралады, сөйтіп болттар денелерінде созатын күштер бақыланып отырылады. Болттарды қатты тарту арқылы біріктірілетін элементтерді қысып біріктірудің тұтастығына қол жеткізіледі.

Кесте 10.

Бір болтты біріктірудің ығысу мен созылуға есепті қарсыласуы

| Кернеулену түрі | Шартты белгісі | Болат болттардың класстары бойынша есепті қарсыласуы |     |     |     |     |     |
|-----------------|----------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|
|                 |                | 4,6  | 4,8 | 5,6 | 5,8 | 6,6 | 8,8 |
| Ығысу           | $R_{bo}$       | 150  | 160 | 190 | 200 | 230 | 320 |
| Созылу          | $R_b$          | 175  | 160 | 210 | 200 | 250 | 400 |

Кесте 11.

Беріктігі аса жоғары болттардың механикалық сипаттамалары

| Болт диаметрі мм | Болат болттардың мөлшерлі уақытша қарсыласулары $R_{b0}, МПа$ |               |                |        |
|------------------|---|---------------|----------------|--------|
|                  | 40Х "селект"  | 38СХ "селект" | 40ХФА "селект" | 30ХЗМФ |
| 16 – 27          | 1100  | 1350          | 1350           | 1550   |
| 30               | 850   | -             | -              | 1200   |

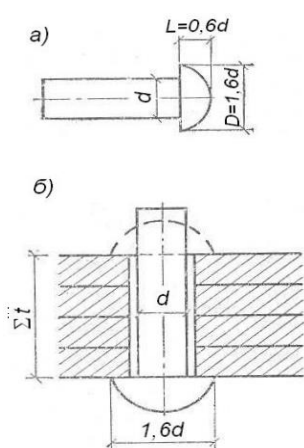
Біріктірілген элементтер беттерінің үйкеліс күші сыртқы ығыстыратын күшті қабылдайды. Сонымен беріктігі аса жоғары болттар өстік созылуға жұмыс істеп, ығыстыратын күшті бірігетін элементтердің үйкелісіне береді, бұл тәріздес біріктірулерді "фрикциялы" – деп атайды. Үйкеліс күшін көбейту үшін бірігетін элементтердің беттерін шаңнан, тотықтан, майдан, металл тазалағыштармен, құм ағынымен, отпен тазалайды және боялмайды.

Екі жақты жапсармалы біріктірілетін элементтер қалыңдықтары бірдей болуы керек. Егер олардың қалыңдықтары бір-бірінен шамалы ғана ауытқыса, онда элементтердің беттесіп жатуын қамтамасыз ету мүмкін емес, ал ол үйкеліс күшін, оған сәйкес болттың жүк көтеру мүмкіндігін азайтып жібереді. Кей кезде металл тазалағышпен тазаланған беттер арасына жұқа, екі жағында корундты түйіршіктері бар, полимерлі желім жайылған болат төсем салынады. Бұл шешім біріктірілетін элементтер беттерінің ауытқуларын түзулеп, үйкеліс коэффициенттерін арттырады. Беріктігі аса жоғары болтты біріктірулер – басқа болтты біріктірулерге қарағанда құрастырулары оңай, сапасы жағынан пісірілген біріктірулерден кем емес, бірақ металл шығыны артық. Олар монтаждау біріктірулеріне өте үлкен ығысу күштері, динамикалық, вибрациялық жүктер әсер еткенде қолданылады, өзі кесетін болттар (ТШ 34–5815–70) алдын – ала тесілген элементтерге бұранда сала кесіп біріктіріледі. Бұл болттар термиялық өңделген Ст10кп болаттан жасалады. Олардың диаметрлері 6 мм-ге тең етіп қабылданады.

Іргетас (қарнақ) болттары (МЕСТ 243791-1-80) ұстыннан іргетасқа созатын күшті беру үшін қолданылады. Олардың материалдары – ВСт3кп2, 09Г2С және 10Г2С1 маркалы болаттар.

### Тойтарма шегелі біріктірулер

Тойтарма шегелі біріктірулер ертеректе металл конструкцияларын біріктірулердің негізгі түрі болғанымен, оларды даярлау технологиясының қиындығы, металл шығынының көптігіне байланысты пісірулер мен беріктігі аса жоғары болттармен толық ауыстырылды. Олар тек динамикалық және вибрациялық күштер әсер ететін конструкцияларда (көпірлерде,



Сурет 54.  
Тойтарма біріктіру  
а - жартылай домалақ басты тойтарма;  
б - біріктіруге тойтарманы орнату

гидротехникалық қақпаларда) және пісірулері қиын материалдарды пайдаланғанда қолданылады. Тойтарма шегелер созылымдылық қасиеттері жоғары, аз көміртекті, аз легіріленген болаттардан даярланады (сурет 54).

Бірігетін элементтердегі тесіктер болтты біріктірулердегідей даярланады. Даярланған тесіктерге тойтарма шегелерді қойып, пневматикалық балғамен, қысқыш қысымымен диаметрлерін ұлғайта, тесіктерді тығыздай толтырып, екінші басын құрай даярлайды (сурет 54).

Тойтарма шегелерді ыстықтай және суықтай орналастырады. Ыстықтай орналастыру үшін, тойтарма шеге 800°С (қызарғанша) қыздырылып, элементтер тесігіне қойылып, екінші басын ұрып тұйықтайды. Осылай орнатылған тойтарма шеге



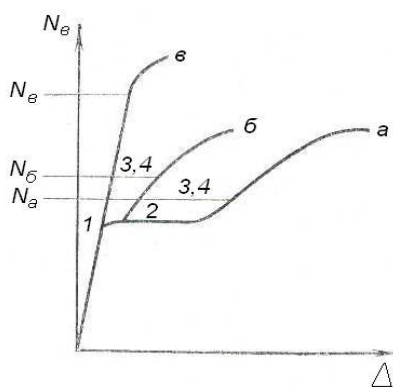
суығанда көлемі кішірейіп, бірігетін элементтерді қысып, үйкеліс күшінің пайда болуына әсер етеді. Суықтай орналастыру тек зауыт жағдайында жүргізілуі тиіс. Бұл тәрізді біріктірулерде үйкеліс күші азаяды, даярлау оңайланады.

Тойтарма шегелі біріктірулердің жұмысы дәлдігі жоғары және беріктігі аса жоғары болттардың жұмыстарының ортасынан орын алады, өйткені бірігетін элементтерді қысатын күш шамасы әжептәуір, бірақ ығыстыратын күшті үйкеліс күші түгел қабылдай алмайды. Сол себепті тойтарма шегелі біріктірулердің есептелуі дәлдігі жоғары болтты біріктірулердің есептелуіндей, ал үйкеліс күштің барлығын олардың есепті қарсыласуын арттыру арқылы ескеріледі. Қазіргі құжатта (ҚРҚНЖЕ 5.04-23-2002) тойтарма шегелі біріктірулердің есептелу жолдары келтірілмеген, сондықтан бұл секілді біріктірулерді жобалағанда оған ескі құжаттарды пайдалану қажет.

### **Болтты біріктірулердің жұмыс істеулері мен есептелулері Статикалық жүктің әсерінен ығысу кезіндегі жұмыс істеулері және есептелулері**

Көпшілік біріктірулер негізінен ығысуға жұмыс істейді, бірақ әртүрлі болтты біріктірулердің өз ерекшеліктері бар.

Дәлдігі дөрекі, қалыптағыдай және жоғары болттар пайдаланылған бірігетін элементтерді қысатын күш шамалары белгісіз, сондықтан элементтер арасындағы үйкеліс күші сыртқы ығыстыратын күшті қабылдай алмайды. Бұндай біріктірулердің жұмыстарын төрт сатыға бөлуге болады (сурет 55).



Сурет 55.  
Болттық біріктірудің жылжуға жұмыс істеуі  
а) дәлдігі дөрекі және қалыптағы жәй болттар б) дәлдігі жоғары жәй болттар в) беріктігі аса жоғары

Бірінші сатыда бірігетін элементтер арасындағы үйкеліс күші сыртқы ығыстыратын күштен кем болғанда, болттар тек созылуға, ал біріктіру серпімді сатыда жұмыс істейді. Сыртқы ығыстыратын күш өсіп, бірігетін элементтер арасындағы үйкеліс күшінен артқанда, біріктіру жұмыстың екінші сатысына ауысады. Біріктіру болтпен тесік диаметрлерінің айырмасына ығыса жылжиды. Үшінші сатыда ығыстыратын сыртқы күш негізінен тесік бетімен болтқа беріледі, болт шыбығы мен тесік шеттері мыжыла бастайды; болты иіледі және созылады, өйткені болттың басы мен гайкасы оның еркін иілуіне мүмкіндік бермейді. Бірте-бірте, сыртқы күш әрі өскен кезде, біріктіру төртінші жұмыс істеу сатысына өтеді; бұл

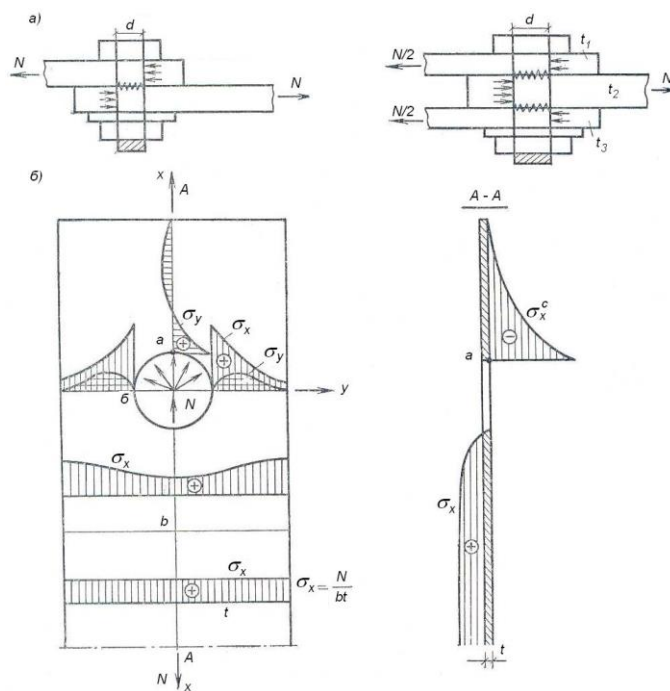
сатыда біріктіру серпімділік-созылымдылық сатыда жұмыс істейді. Біріктіру – болттың қиылуынан, мыжылуынан және жұлынуынан қирайды. Бұл жұмыс – өте күрделі, өйткені тесік беттері мен болт сұлбалары бір тесік емес, болтпен тесік араларында арақашықтық бар олардың шамалары әртүрлі. Сол себепті болттар әр мезгілде жұмысқа енеді, бұл құбылыс біріктірулердің жұмыс шартын ескеретін коэффициенттерді қабылдау арқылы ескеріледі. Есептеу қираудың мүмкін түрін, қалың элементтер біріктірілгенде болттың қиылуын, жұқа элементтер біріктірілгенде тесік бетінің мыжылуын ескере жүргізіледі.

Бұл болттың қабылдай алатын есепті күші:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot A_0 \cdot n_s, \quad (97)$$

бұл жерде:  $R_{bs}$  – болттың қиылуға есепті қарсыласуы;  $\gamma_b$  – біріктірудің жұмыс шарты коэффициенті, дәлдігі дөрекі және қалыптағыдай көп болтты біріктіруді  $\gamma_b = 0,9$ ; дәлдігі жоғары біріктіруде  $\gamma_b = 1$ ;  $A = \frac{\pi d^2}{4}$  – болттың бұранда кесілмеген жағының көлденең қимасы;  $d$  – болттың диаметрі;  $n_s$  – бір болттың есепті қиылу саны (сурет 56).

Болтты мыжылуға есептеу жуық шамамен жүргізіледі, өйткені болттан бірігетін элементтерге күш берілген жерлерде күрделі жағдай туады (сурет 56).



Сурет 56. Болттың жұмыс істеуі.  
а - болттың қимасы; б – тесіктің мыжылуы

Суреттегі "а" нүктесінде мыжу кернеуі  $\sigma_x^m$  және созатын кернеу  $\sigma_y$  әсер етеді. Мыжу кернеуі  $\sigma_x^m$  материалдың ерте аққыштығын тудырады, ал созатын кернеу  $\sigma_y$  бірігетін элементтерді жаруы мүмкін, сөйтіп элементті болт кесіп кетуі мүмкін. Суреттегі "σ" нүктесінде болт бірігетін элементтерде ешқандай кернеулер тудырмайды, ал бұл нүктеде кернеулердің өсуі тесік маңындағы кернеулердің шоғырлануына байланысты. Тек маңында материалдың біркелкі жұмыс істемеуі біріктірудің "С" түрінде ұлғая түседі. Шын мәніндегі күрделі кернеулі жағдайды ескеру қиын, сондықтан болттың тесік бетіне қысымы болт диаметрі бойынша бірқалыпты жайылған деп есептелінеді. Есептеудің шын жұмыс істеуінен айырмашылықтары болттың есепті қарсыласуын анықтағанда ескеру қажет.

Бір болттың элементтер мыжылатын кезде қабылдай алатын күшті келесі формула бойынша анықталады:

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot d \sum t, \quad (98)$$

бұл жерде:  $R_{bp}$  – болттар біріктіретін элементтердің мыжылуға есепті қарсыласуы;  $\sum t$  – бір жаққа қарай мыжылатын элементтердің ең жұқа қалыңдығы;  $\gamma_b$  мен  $d$  (96) формуладағыдай.

Керекті болттардың жалпы саны, олардың бәрі бірдей жұмыс істейді деген жорамалмен келесі формула бойынша табылады:

$$n = \frac{N}{N_{b,\min} \cdot \gamma_c}, \quad (99)$$

бұл жерде:  $N_{b,\min}$  – (97) және (98) формулалар бойынша табылған бір болттың қабылдай алатын ең кіші есепті күші;  $\gamma_c$  – конструкциялардың жұмыс шарты коэффициенті.

Біріктірілетін элементтердің беріктігі қиманың тесіліп әлсіреген ауданы  $A_n$  бойынша тексеріледі. Материалдың серпімді – созылымды сатыда жұмыс істеуін жұмыс шарты коэффициенті  $\gamma_c$  арқылы ескеріледі. Ол біртұтас арқалық, ұстын және түйістірудегі жанамалар үшін  $\gamma_c = 1,1$ ; шыбықты төбе жапқыш және қабат жапқыш конструкциялар үшін  $\gamma_c = 1,05$ . Келтірілген жұмыс шарты коэффициенттері барлық конструкциялар үшін қабылданатын жұмыс шарты коэффициенттерімен  $\gamma_c$  қатар ескеріледі.

Болттарды тексеретін күшпен тартылған беріктікті аса жоғары болтты біріктірулерді бірігетін элементтерді қысатын күш шамалары өте үлкен болғандықтан, олардың арасындағы үйкеліс күштері ығыстыратын сыртқы күшті толық қабылдайды. Біріктіру серпімді сатыда жұмыс істейді.

Бұндай біріктірулерде болтты тартатын күштің  $P = R_{sh} \cdot h \cdot A_n^{\sigma}$  (болтты созғандағы есепті күшке тең) – маңызы өте зор.

Элементтерді біріктіретін беріктігі аса жоғары болттың қабылдай алатын ығыстыратын күштің есепті мәні келесі формуламен анықталады:

$$Q_{bh} = R_{bh} \cdot A_n \cdot \gamma_b \cdot \left( \frac{\mu}{\gamma_h} \right) \cdot k, \quad (100)$$

бұл жерде:  $R_{bh} = 0,7 \cdot R_{bun}$ ,  $R_{bun}$  – болттың созылуға уақытша қарсыласуы;

$\mu$  – үйкеліс коэффициенті (14 кесте);

$\gamma_h$  – сенімділік коэффициенті (12 кесте);

$k$  – бір болттың үйкеліс жазықтар саны;

$\gamma_b$  – біріктірудің жұмыс шарты коэффициенті; біріктірудегі болттардың санына байланысты алынады;

$$n < 5, \gamma_b = 0,85; \quad 5 < n < 10, \gamma_b = 0,9; \quad n = 10, \gamma_b = 1.$$

Біріктірудегі ығыстыратын сыртқы күшті қабылдайтын беріктігі аса жоғары болттардың санын, әсер ететін күш бірдей таралады деп келесі формуламен анықталады:

$$n = \frac{N}{Q_{bh} \cdot \gamma_c} \quad (101)$$

Кесте 12.

#### Болттар қималарының аудандары

|                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $d, мм$        | 16   | 18*  | 20   | 22*  | 24   | 27*  | 30   | 36   | 42   | 48   | 56   | 64   | 72   | 80   | 90   | 100  |
| $A, см^2$      | 2,01 | 2,54 | 3,14 | 3,80 | 4,52 | 5,72 | 7,06 | 10,2 | 13,8 | 18,1 | 24,6 | 32,2 | 40,7 | 50,3 | 63,6 | 78,5 |
| $A_{nm}, см^2$ | 1,57 | 1,92 | 2,45 | 3,03 | 3,52 | 4,59 | 5,60 | 8,2  | 11,3 | 14,8 | 20,5 | 26,9 | 34,7 | 43,5 | 66,0 | 70,2 |

• - көрсетілген болттар қолданылмайды.

Кесте 13.

#### Іргетас болттардың созылуға есепті қарсыласулары, МПа

| Болт диаметрлері, мм | Болат маркасы |       |        |
|----------------------|---------------|-------|--------|
|                      | ВСт3кп2       | 09Г2С | 10Г2С1 |
| 12 – 32              | 145           | 185   | 190    |
| 33 – 60              | 145           | 180   | 180    |
| 61 – 80              | 145           | 175   | 170    |
| 81 – 100             | 145           | 170   | 170    |

Беріктігі жоғары болттар қолданылған біріктірулерді есептегенде, серпімділік – созылымдылық сатыдағы жұмысын ескермей ( $\gamma_b = 1$ ) есептеледі. Статикалық жүк әсер еткенде әлсіреген қиманың беріктігі егер  $A_{нм} > 0,85A$  болғанда, қиманың толық ауданымен, ал егер  $A_{нм} < 0,85$  болғанда келтірілген ауданмен  $A_{кел} = 1,18A_{нм}$ , ал динамикалық жүк әсер еткенде  $A_{кел} = A_{нм}$  етіп қабылданады.

Кесте 14.

Жоғары берікті болттармен біріктіру кезіндегі  
үйкеліс коэффициенттері

| Бірігетін беттерді өңдеу (тазалау) әдістері   | Болттартуын тексеру | Үйкеліс коэффициенті | $\gamma$ -коэф. жүктің түріне ж/е тесік диаметрі мен болт диаметрінің айырмалары |  |
|---|---------------------|----------------------|--|--|
|   |                     |                      | Динамикалық жүк $\delta=3-6$ мм статикалық жүк $\delta=3-6$ мм                   | Динамикалық жүк $\delta=1$ мм статикалық жүк $\delta=1-4$ мм |
| 1. Құм ағыны, бұршақ атқыны, н/се бұршақ ағыны екі беті де қорғалмаған кварцты құммен, н/се бұршақпен                                     | м                   | 0,58                 | 1,35   | 1,12   |
|   | $\alpha$            | 0,58                 | 1,20   | 1,02   |
| 2. Сынық өзі бір, екі беті де цинк н/се алюминий шашып қорғаған   | м                   | 0,5                  | 1,35   | 1,12   |
|   | $\alpha$            | 0,5                  | 1,20   | 1,02   |
| 3. Кварцты құммен немесе бұршақпен бір бетін полимерлі корунд түйіршіктері себіліп, қорғамай, екінші қорғалмаған бетін болат тазалағышпен | м                   | 0,5                  | 1,35   | 1,12   |
|   | $\alpha$            | 0,5                  | 1,20   | 1,02   |
| 4. Газды от жалынымен екі бетті де, қорғамай  | м                   | 0,42                 | 1,35   | 1,12   |
|   | $\alpha$            | 0,42                 | 1,20   | 1,02   |
| 5. Болат тазалағышпен екі бетті де, қорғамай  | м                   | 0,35                 | 1,35   | 1,12   |
|   | $\alpha$            | 0,35                 | 1,20   | 1,02   |
| 6. Өңделмеген   | м                   | 0,25                 | 1,70   | 1,30   |
|   | $\alpha$            | 0,25                 | 1,50   | 1,20   |

$M$  – болттың тартуын бұрау моменті арқылы тексеру;  
 $\alpha$  - гайканың бұрылу бұрышы арқылы тексеру.

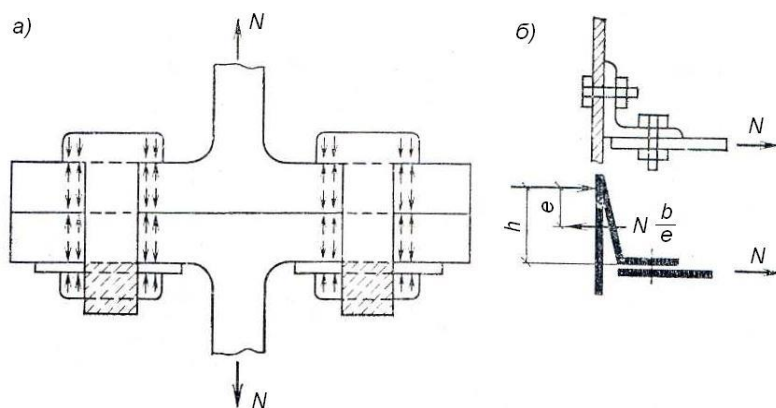
### Біріктірудің созылғанда жұмыс істеуі және есептелуі

Егер біріктіруге сыртқы күш болт өсіне параллель әсер етсе, онда болт созылуға жұмыс істейді. Бұндай біріктірулерге статикалық күштің әсерінен жұмыс істегенде болттар дәлдіктеріне қарамай, бәрі бірдей жұмыс істейді. Болттың тартылуы, созылғандағы жүк көтеру мүмкіндігіне әсер етпейді. Сыртқы күш біріктірілген элементтерді қысатын болттардың күшіне теңескенде, біріктірудің тұтастығы бұзылмайды. Сыртқы күш одан асқан кезінде біріктірудің біртұтастығы бұзылады, сөйтіп болттарға беріледі. Біріктірудің беріктігі болттардың созылуға беріктігіне байланысты болады. (сурет 57).

Бір болттың қабылдай алатын күш мәні келесі формуламен анықталады:

$$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{um}^{\sigma} \quad (102)$$

бұл жерде:  $R_{bt}$  – болттардың созылуға есепті қасыласуы.



Сурет 57. Созылуға болттың жұмыс істеуі

а – фланцты симметриялық біріктіру; б – симметриялы емес

Біріктіруге керекті болттар саны келесі формуламен анықталады:

$$n = \frac{N}{N_{bt} \cdot \gamma_e}, \quad (103)$$

Біріктіруге созатын және ығыстыратын күштер бірге әсер еткенде ығысуға (97), (98), (99) формулалармен, созуға (102), (103) формулалармен жеке – жеке тексеріледі.

## Ығыстыратын жүк қайталана әсер еткендегі біріктірудің жұмыс істеуі және есептелуі

### Ығыстыратын жүк үзіліспен әсер еткендегі біріктірудің жұмыс істеуі

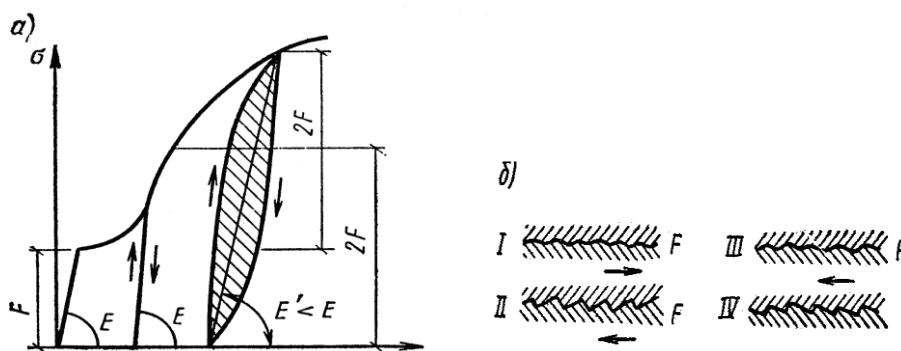
Жүк қайталана әсер еткенде біріктірулер бірнеше түрлі жұмыс істейді.

1. Біріктірудегі болттардың қысу күші үлкен болғанда, қайталана әсер ететін жүк шамасынан бірігетін элементтердің үйкеліс күші артық болғанда, біріктіру өзінің тұтастығын жоғалтпай негізгі металл тәрізді серпімді жұмыс істейді. Беріктігі аса жоғары болттар жоғарыда айтылғандай жұмыс істейді.

2. Дәлдіктері қалыптағыдай, жоғары және беріктігі аса жоғары болттардың бірігетін элементтерді қысатын күштер аз болғанда сыртқы ығыстыратын күш бірігетін элементтердің үйкеліс күшінен артық болғанда, біріктіру серпімді-созылымдылы сатыда жұмыс істеді. Бұндай біріктіруді созылымдылық деформация дамығанша (үйкеліс күшінен арттыра) жүктен, одан кейін жүкті алғанда, онда біріктірудегі деформация кері бағытта үйкеліс күшіне сәйкес шамаға серпімділік заңдылықты сақтай кейін жүреді, сөйтіп біріктіруде қалдық деформация қалады. Серпімділік заң бірінші жүктегендегі  $F$  жүкті алғандағыдай емес, құрғақ үйкеліс заңына сәйкес  $2F$  – ке дейін сақталады, яғни келесі жүктеу кезеңдерінде егер ығыстыратын сыртқы күш шамасы  $N$  үйкеліс күштің екі еселенген шамасынан аспағанда  $2F$ , біріктіру серпімді сатыда жұмыс істейді.

Сонымен, біріктіруге жүктер қайталана әсер еткенде олардың серпімділік жұмысы екі есеге артады.

Біріктіруге жүктер қайталана әсер еткенде шамалары  $N > 2F$  артса үйкеліс күші әр жүктеу мен жүкті алу сатыларында азаяды, жүктеу – деформация гистерезис тұзағын – біріктірудің циклді жұмысын құрайды. Біріктірудің ішкі үйкеліс күші көбейген сайын, біріктірудің серпімді сатыдағы жұмысы арта түседі, сол себепті біріктірудегі болттардың элементтерді қысатын күштерді көбейте түсу керек.



Сурет 58. Қайта жүктелген кездегі болттың жұмыс істеуі  
 а – жұмыс диаграммасы; б – I – IV құрғақ үйкеліс кезінде екі жолақтың орын ауыстыру схемалары

## **Вибрациялық жүк әсер еткендегі біріктірудің жұмыс істеуі және есептелуі**

Вибрациялық жүк әсер еткендегі біріктірулерде беріктігі аса жоғары болттар мен тойтарма шегелер қолданылады.

Вибрациялық жүк әсер еткенде, біріктіру серпімді жұмыс істейді, өйткені әсер ететін күш шамасы бірігетін элементтер арасындағы үйкеліс күшінен кем. Біріктірудің серпімді жұмыс істеуі болттар арасындағы ішкі күштердің біркелкі тарауына әсер етпейді бірақта шеткі болттар ортадағыларға қарағанда көбірек жұмыс істейді. Біріктірудегі тесіктер күрделі кернеулі жағдайларға кернеудің шоғырлануына және өте үлкен кернеудің пайда болуына әкеп соқтырады.

Бұл құбылыстар біріктірудің шаршауға төзімділігін негізгі металл төзімділігіне қарағанда кемітеді, әрі металдың шаршауына әсер етеді.

Шаршаудан болттар мен тойтарма шеге шыбықтары сирек қирайды.

Олар кернеулер шоғырланған жерлерде, яғни шыбықтың басымен бірігетін жерде, бірігетін элементтердің шеттері шыбық орталарын мыжылуына байланысты қирайды.

Біріктірудің шаршауға төзімділігін материалдың есепті қарсыласуын төмендету арқылы ескеріледі.

### **Болтты және тойтарма шегелі біріктірулердің түрлері**

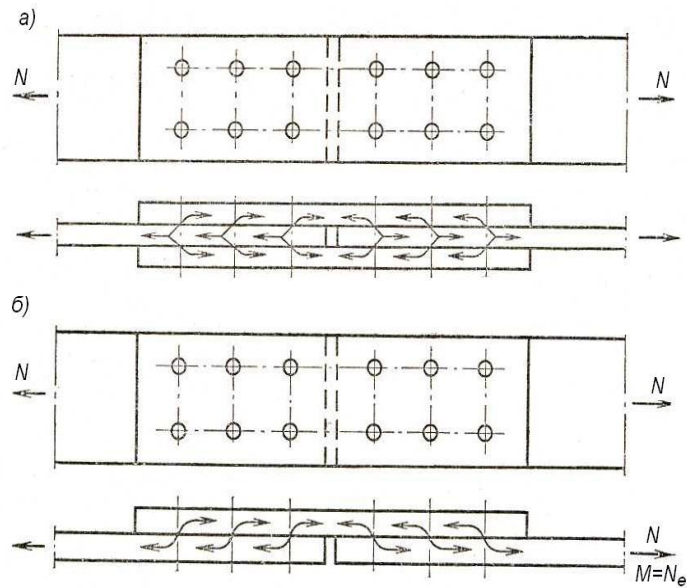
Біріктірудің екі конструктивтік – түйістірілген және элементтердің бір-біріне бекітілген түрлері бар.

Қаңылтыр металды түйістіре біріктіру екі жақты, немесе бір жақты жапсырмаларды қолдану арқылы даярланады (сурет 59). Екі жақты жапсырма күштерді симметриялы түрде беретіндіктен, іс жүзінде көбірек қолданылады. Бір жақты жапсырманы пайдаланғанда түйістіре бекітілген біріктірулерде күш сызықтары өз бағытынан ауытқиды, оларда иілу моментін тудырады, бұндай біріктірулерде болттардың есепті саны 10% - ке көбейтіледі. қалыңдығы әртүрлі қаңылтырларды біріктіргенде, олардың арасындағы айырмашылықтары төсеме қойып теңестіріледі, бұл кезде де болттардың есепті саны 10% - ке көбейтіледі.

Профильді металдардың біріктірулері де профильді жапсырмалар мен қаңылтырлы жапсырмалар қойылып даярланады.

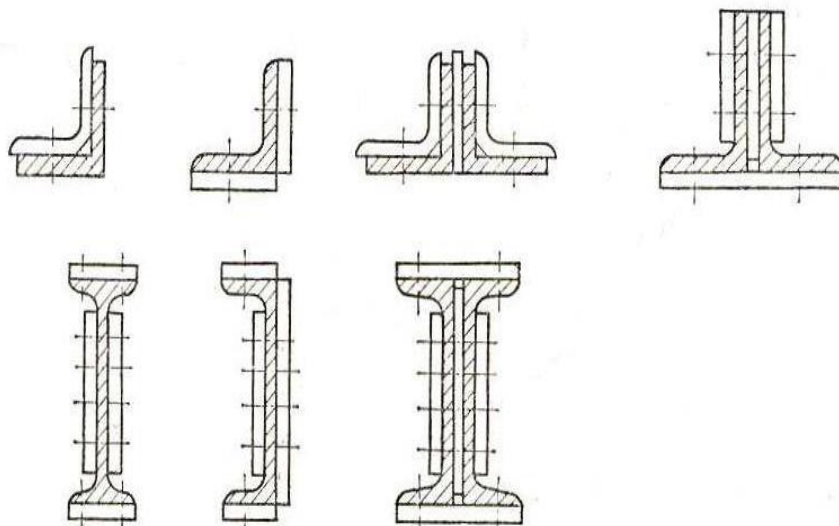
Элементер айкастыра да біріктіріледі.



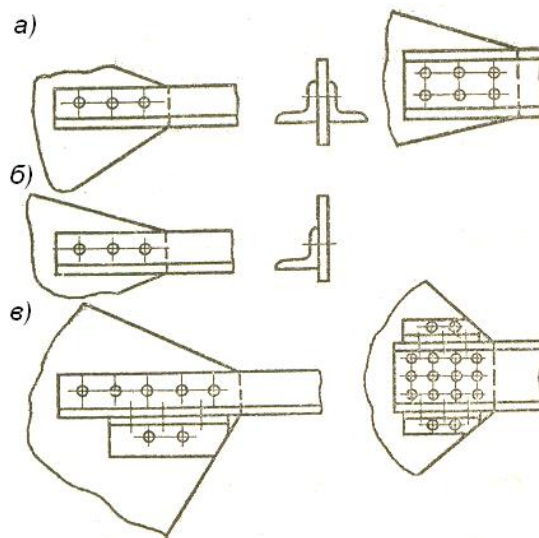


Сурет 59. Жапырақты металдың жіктері  
 а – симметриялы; б – симметриялы емес

Біріктірудің жұмысын жақсарту үшін екі жақты симметриялы бекітуді қолдану дұрысырақ (сурет 60). Қатаң элементтерді иілгіш элементтерге бір жағынан бекіткенде эксцентрицитет пайда болады (сурет 60), сол себепті есепті болттың саны 10%-ке көбейтіледі.



Сурет 60. Прокатты профильдердің болтты және тойтарма шеге арқылы біріктірулері



Сурет 61. Элементтерді біріктіру

Егер бекітілген элементтің ұзындығы қысқа болғанда, болттардың біразын арнайы қосымша бұрыштарға орналастырады. Арнайы қосымша бұрыштардан бірігетін элементтерге күштердің берілу жолдары ұзаратыны және біріктірудің деформациялануының артуы себепті, оларда орналасатын болттардың есепті саны 5 – ке көбейтіледі.

Болтты біріктірулерді конструкциялау кезінде конструктивтік элемент үшін болттың ең кіші диаметрін қолдану қажет.

Қуаттылығы орта конструкцияларда диаметрлері 20-24 мм-ге дейінгі, ал ауыр конструкцияларда  $d = 24 - 30 \text{ мм}$  дейінгі болттар қолданылады.

### Болттарды орналастыру

Біріктірулерді конструкциялау кезінде бір элементтен екінші элементке күшті ең қысқа жолмен бергізу және біріктіруді даярлауды оңайлатуға ұмтылу керек. Түйістірілген элементтерде, түйіндерде (жапсырма элементтерінің материалдарын үнемдеу үшін) болттар араса ең кіші шамаға тең болуы керек.

Аз жұмыс істейтін біріктірулерде (байланыстырушы, конструктивтік), болттардың арақашықтығы болттар санын азайту үшін ең үлкен шамаға тең болуы керек.

Болттар әсер етуші күш бағытына параллель сызықтар бойынша орналастырылады. Екі сызықтар арақашықтығын "жол" – деп, екі болттың сызықтар бойындағы арақашықтығын "қадым" – деп атайды (сурет 62).

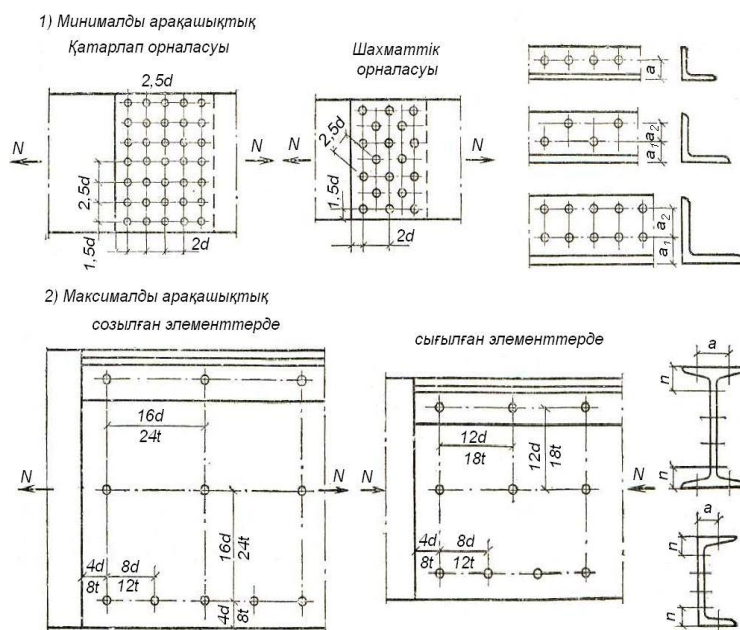
Болттар мен тойтарма шегелер ауырлық орталықтарының арақашықтықтары 15 кестеде келтірілген. Болттар арасындағы ең аз қашықтық (сурет 62) негізгі материалдардың беріктігіне байланысты анықталады.

Ең үлкен қашықтық – болт араларындағы қысылған элементтің орталарында коррозия дамытатын су, шаң түспейтін тұтастығын

қамтамасыз ету шарты бойынша анықталады. Профильді элементтерде болт орналасатын сызықтардың орналасуы және тесік диаметрінің шамасы элементтердің беріктігіне және біріктіруде болттың орналасу мүмкіндігіне байланысты.

Профильді элементтер үшін болт орналасатын сызықтардың орналасуы металл конструкциялардың анықтамасында келтірілген.

Тесікті арнайы құралды пайдаланып бұрғылауды оңайлату үшін қадым мен жолдың арақашықтығына 1мм-ге бүтін бөлінетіндей болуы керек.



Сурет 62. Тесіктерді орналастыру

Аққыштық шегі 380 МПа-ға дейін болтты элементтердің біріктірулерін мыжылуға есептегенде жұмыс шарты коэффициенті  $\gamma_b = 0,85$  болғанда (дәлдігі дөрекі және қалыптағыдай болттар үшін  $\gamma_b = 0,9$  қатар ескеріледі). Болт ортасынан шетіне дейін  $a = 1,5 \cdot d$ , ал тесік орталарының арақашықтығын  $b = 2 \cdot d$  дейін азайтуға болады.

Аққыштық шегі 380 МПа артық болтты элементтерде болттар арасындығы ең аз арақашықтық  $3d$  – тең етіп қабылдау керек.  $d$  – тесік диаметрі;  $t$  – ең жұқа сыртқы элементтің қалыңдығы.

**1 – мысал.** Болат маркасы ВСтЗсп5 – 2, қимасы  $600 \times 10$  мм екі қаңылтырды түйістіре біріктіруді жобалау керек. Берілгендері:  $R_y = 270$  МПа;  $R_{bp} = 385$  МПа. Біріктіруге әсер ететін күш –  $N = 960$  кН. Біріктірудің қалыңдығы 6 мм-ден екі жапсырманы қолдана жобалаймыз. Жұмыс шарты коэффициенті  $\gamma_c = 1$ . Түйістірудің екі вариантын қарастырамыз (сурет 63).

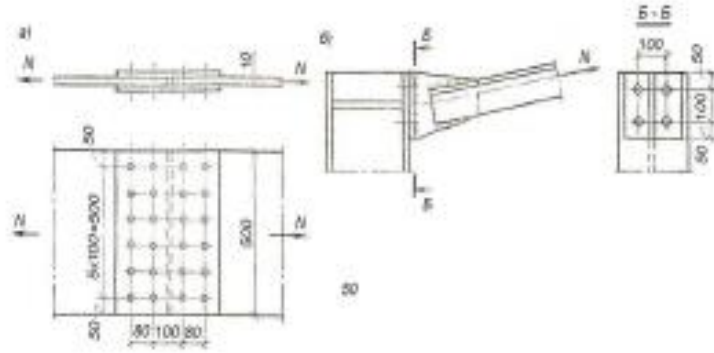
Кесте 15.

Болат конструкцияларда болттар мен тойтарма шегелерді орналастыру

| Болттар мен тойтарма шегелердің бағыттары мен орналасулары  | Болт және тойтарма шеге тесіктерінің орталарының арақашықтығы            | Болттар мен тойтарма шегелердің бағыттары мен орналасулары   | Болт және тойтарма шеге тесіктерінің орталарының арақашықтығы |
|---|--|--|---|
| Болт пен тойтарма шегелердің кез-келген бағыттарындағы арақашықтық<br>а) ең азы болттар үшін тойтарма шегелер үшін<br>б) шеттері бұрышпен шеттелмеген шеткі қатардағы созғанда және сығылғандағы ең үлкен арақашықтық<br>в) орта қатардағы шеттері бұрышпен шеттелген шеткі қатардағы ең үлкен арақашықтық<br>созғанда сығылғанда | 2,5d*<br>3d<br><br>8d немесе 12t<br><br>16d немесе 24t<br>12d немесе 18t | Болт пен тойтарма шеге орталарына элементтің шетіне дейін<br>а) күш бойымен ең азы<br>б) күшке көлденең ең азы:<br>кесілген шетті прокатты шетті<br>в) ең үлкені<br>г) беріктігі аса жоғары болттар үшін күштердің кез-келген бағытында, шеттер түріне қарамай | 2d*<br><br>1,5d<br>1,5d<br>4d немесе 8t<br><br>1,3d           |

**Бірінші вариант.** Біріктірудің дәлдігі қалыптағыдай диаметрі 16мм; беріктік класы 6,6.  $R_{bs} = 23 \frac{kH}{cm^2}$ , болттар үшін даярланатынн диаметрі 18мм тең тесік бірігетін элементтер мен жапсырмалар да бұрғымен тесіледі (10 түрі).

Әр болттың көтеру мүмкіндігін анықтаймыз: (97) формуламен ығысу кезінде:



Сурет 63. Есептеу мысалдарына

$$N_b = R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot A \cdot n_s^{\sigma} = 23 \cdot 0,9 \cdot 2,01 \cdot 2 = 83,2 \text{ kH}$$

(97) формуламен мыжылу кезінде:

$$N_b = R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot d \cdot \sum t = 38,5 \cdot 0,9 \cdot 1,8 \cdot 1 = 62,7 \text{ kH}$$

бұл жерде:

$$\sum t = t_k = 10 \text{ мм} < 2 \cdot t_{жс} = 12 \text{ мм}$$

Керекті болттың саны

$$n = \frac{N}{N_{b,\min} \cdot \gamma_c} = \frac{750}{1 \cdot 62,57} = 11,98 \text{ дана}$$

Әрқайсысына екі қатар болттан қабылдаймыз. Қаңылтырдың болтпен тесіліп әлсіреген қимасының көтеру мүмкіндігін тексереміз. Элементтің және жапсырманың сенімділік коэффициентін  $\gamma_c = 1$  (тең екенін ескере):

$$N = A_{nm} \cdot R_y \cdot \gamma_c = (60 \cdot 1 - 6 \cdot \frac{3,14 \times 1,88^2}{4}) 23 \times 1,1 = 1131,9 \text{ kH}$$

**Екінші вариант.** Біріктірудің беріктігі аса жоғары, диаметрі 16 мм 40X селект маркалы болаттан даярланған болтты қабылдап жобалаймыз.

Берілгендері:  $R_{th} = 110 \text{ kH/cm}^2$  – болттың есепті қарсыласуы; бірігетін элементтер беттерін газ жалынымен тазалаймыз.

(100) формуланы пайдаланып, болт диаметрі мен тесік диаметрінің айырмашылығы 1 мм және  $\gamma_b = 0,85$

$$Q_{bh} = R_{bh} \cdot A^{\sigma} \cdot \gamma_b \cdot \left( \frac{\mu}{\gamma_h} \right) \cdot k = 0,7 \cdot 1,57 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,42}{1,02} \cdot 2 = 84,62 \text{ kH}$$

Жапсырманың жартысына керек болт саны:

$$n = \frac{N}{\gamma_c \cdot Q_{ch}} = \frac{750}{1 \cdot 84,62} = 8,86 \text{ дана}$$

Бес болттан екі қатар орналастырамыз.  
Әлсіреген қиманың көтеру мүмкіндігін тексереміз.

$$A_{um} = \left( 60 \cdot 1 - 5 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,6^2}{4} \right) = 49,95 \text{ см}^2$$

$$\frac{A_{um}}{A_{op}} = \frac{49,95}{60} = 0,83 < 0,85$$

Қаңылтырдың шартты есепті қимасы.

$$A_{\alpha} = 1,18 \times A_{um} = 1,18 \cdot 49,95 = 58,94 \text{ см}^2$$

Қаңылтырдың жүк көтеру мүмкіндігі (бірігетін элементтердің серпімділік-созылымдылық сатыдағы жұмысын ескермегенде)

$$N = A_{\alpha} \cdot R_y \cdot \gamma_c = 58,94 \cdot 23 \cdot 1 = 1355,62 \text{ кН} > 750 \text{ кН}$$

Бірінші және екінші варианттарды салыстырғанда, беріктігі аса жоғары болттарды пайдаланған біріктіруде болт саны аз және бірігетін элементтердің көтеру мүмкіндігін арттырады.

**2 – мысал.** Суретте келтірілген стропилалық ферманың төменгі белдеуін ұстынға болтпен бекітуді есептеу керек.

Берілгендері:  $N = 400 \text{ кН}$ ; конструкциялар үшін  $\gamma_c = 1$ ; Біріктірудің екі вариантын қарастырамыз.

**Бірінші вариант.** Бекітуде дәлдігі дөрекі болттарды қолданамыз, оның беріктік классы 5.6, есепті қарсыласуы  $R_{bt} = 21 \text{ кН/см}^2$ ; диаметрі  $d = 20 \text{ мм}$ . Бір болттың созылғандағы қабылдай ала алатын есепті күші формуламен анықтаймыз.

$$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{um}^{\sigma} = 21 \cdot 2,45 = 51,45 \text{ кН}$$

Бекітуге керек болт саны:  $n = \frac{N}{N_{bt}} = \frac{400}{51,45} = 7,66$  дана қабылдағанмыз 8 болт.

**Екінші вариант.** Беріктігі жоғары класы 8.8 35Х маркалы болаттан жасалған болтты пайдалана орындаймыз,  $R_0 = 40 \text{ кН/см}^2$

$$N_{bt} = 40 \cdot 2,45 = 98 \text{ кН}$$

$$n = \frac{N}{N_{bt}} = \frac{400}{98} = 4,08 \text{ дана}$$

қабылдағанмыз 4 болт.

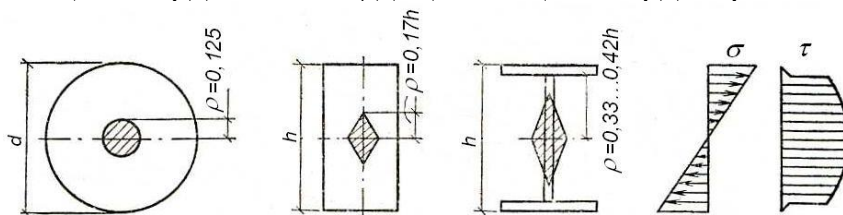
## 2. МЕТАЛЛ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫҢ НЕГІЗГІ ЭЛЕМЕНТТЕРІ

### 2.1. Арқалықтар түрі

Арқалық иілуге жұмыс істейтін негізгі және ең қарапайым конструктивтік элемент болып саналады. Олар азаматтық, қоғамдық және өндірістік ғимараттардың конструкцияларында, арқалықтар алаңында, қабат жапқыштарда, көпірлерде, эстакадаларда, өндірістік ғимараттарда кран асты арқалық ретінде, гидротехникалық қақпалар мен шлюздер және тағы да басқа құрылымдарда пайдаланылады.

Арқалықтардың кең тарауы конструкциялардың қарапайымдылығы мен сенімді жұмыс істеуіне байланысты, аралықтары 15 – 20м конструкцияларда біртұтас арқалықтарды қолдану тиімді. Әсер ететін жүктердің шамасы өскен сайын арқалық аралығы үлкейе түседі, тәжірибеде 30 м, одан артық аралықтарды біртұтас арқалықтар қолданған мысалдар бар. Бұндай арқалықтар көбінде екі қабырғалы, яғни, қорапты қималы болады.

Металл арқалықтардың негізгі қимасы – симметриялы қоставр. Иілуге жұмыс істейтін конструкция қималарының тиімділігін көрсететін қарсыласу моменттерінің аудандарына қатынастары – қиманың ядролық радиусы  $\rho = W/A$ . Ядролық радиустары салыстырылған дөңгелек, төртбұрыш, қоставрлы қималар (сурет 64) келтірілген. Қоставрлы қималар төртбұрышты қималардан екі есе, дөңгелек қималардан үш есе тиімдірек.



Сурет 64. Арқалық қималарының түрлерін салыстыру

Арқалықтардың түрлері – жүктердің және аралықтардың шамаларына сәйкес прокатты қоставрлар, құрамасы пісірілген немесе болтпен бекітілген қоставрлар, швеллерлер. Прокатты арқалықтардың даярланулары оңай болғандықтан іс жүзінде көбірек қолданылады, бірақтан олардың қолдану облыстары шектеулі, үлкен иілу моменттері әсер еткенде оларды қолдану мүмкін болмай қалады.

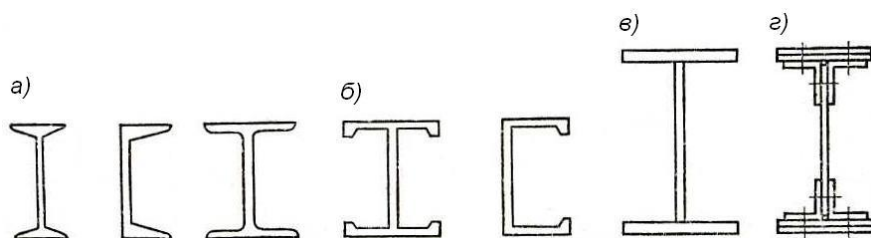
Құрылыста иілгіш қабырғалы, гофрлы қабырғалы, қабырғасы перфорацияланған, екі маркалы болат қолданылған құрамалы арқалықтар пайдаланылады (сурет 65).

Бір аралықты еркін жататын, даярлануы оңай, монтаждауға ыңғайлы арқалықтар қолданылады. Олар – көп аралықты (кесілмеген) арқалықтарға қарағанда металл шығыны бойынша тиімсіздеу.

Көп аралықты арқалықтардың тіреулерінде пайда болатын иілу моменті аралықтағы моменттерді азайтатын болғандықтан металл шығыны азаяды. Олар – температураның өзгеруіне сезімтал, тіреулері бірдей



төмендемейтін болғандықтан иілу моменттері пайдалану кезеңдерінде өзгеріп тұрады.



Сурет 65. Арқалықтардың қималары. а – прокатты; б – престелген; в – пісірілген; г – болтты және тойгармалы біріктірілген

### 2.1.1. Арқалықты конструкцияларды жинақтау

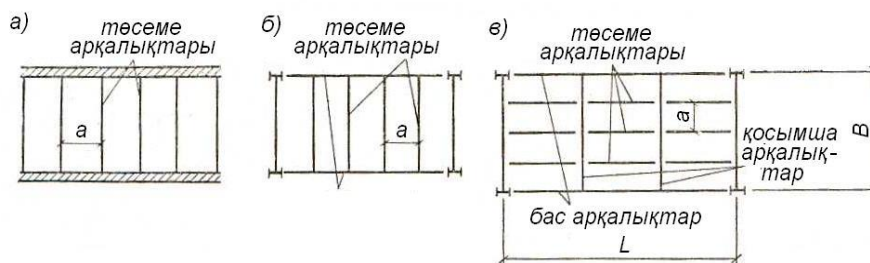
Гидротехникалық қақпаларда, басқа ғимараттарда арқалықтар торы қолданылады.

Арқалықтар торының негізгі үш түрі бар: қарапайым, қалыптағыдай және күрделі (сурет 66).

Қарапайым арқалықтар торында (сурет 66 а) қабат жапқыштағы жүк төсеме арқылы қабат жапқыштың қысқа жағына параллель белгілі бір қадыммен орналасқан шабақтарда (төсеме арқалықтарына) берілді, олар жүктерді қабырғаларға немесе басқа конструкцияларға береді.

Төсеменің көтеру мүмкіндігі аз болғандықтан шабақтарды жиі қою керек, бұл шешім аралық қысқа болғанда ғана тиімді. Ұзын арқалықтарды жиі қойғанда алынатын қуаттылықпен керекті қатандықтың арасында қарама - қайшылық туады да, олардың тиімділігі кемиді. Қалыптағыдай арқалықтар торында төсемедегі жүк шабақтарға, одан бас арқалықтарғы беріледі. Шабақ негізінен прокатты профильдерден қабылданады.

Күрделі арқалықтар торында (сурет 66 в) шабақ пен бас арқалық ортасында қосымша арқалық қойылады. Бұл арқалықтар торында төсемеден жүк шабақтарға, олардан қосымша арқалықтарға, олардан бас арқалықтарға беріледі. Арқалықтар торын даярлауды оңайлату үшін қосымша арқалықтар прокатты профильдерден қабылданады.



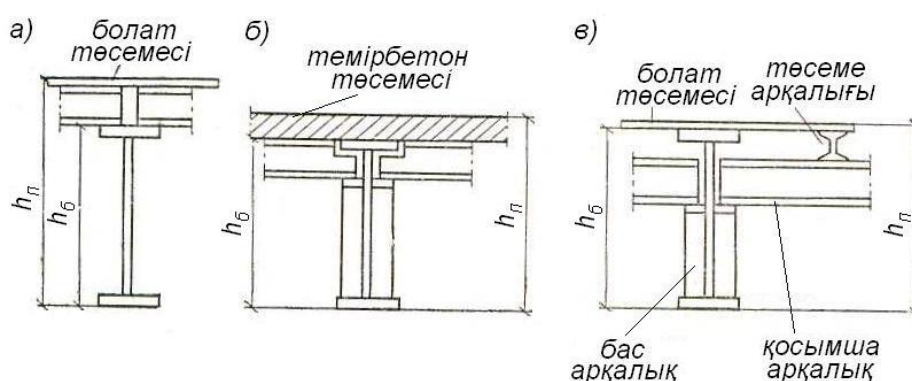
Сурет 66. Арқалықтар торының түрлері.  
а – қарапайым; б – қалыптағыдай; в – күрделі



Арқалықтар торының түрін қабылдау өзара биіктіктері бойынша жалғасуларына байланысты. Арқалықтардың жалғасулары қабатты, бір деңгейде және төмендетілген болуы мүмкін. Қабатты жалғасуларда (сурет 67 а) төсеме қойылатын шабақтар қосымша немесе бас арқалықтарға қойылады.

Жалғасудың бұл түрі өте қарапайым, монтаждау оңай, бірақ бұл жалғасу ең үлкен құрылыс биіктігін талап етеді. Арқалықтар бір деңгейде жалғасқанда шабақтардың жоғары белдеулері мен бас арқалық белдеулері бір жазықтықта жатуы керек. Бұл әдіспен бас арқалықтың биіктігін берілген құрылыс биіктігіне сәйкес қабылдауға болады.

Төмендетілген жалғасулар (сурет 67 в) арқалықтардың күрделі торында кездеседі.



Сурет 67. Арқалықтардың жалғасулары.

а – қабатты; б – бір деңгейде; в – төмендетілген  
( $h_n$  – жабынның;  $h_b$  – арқалықтың)

Шабақтар арасы төсемнің көтеру мүмкіндігіне байланысты қатаңдығын, беріктігін ескере қабылданады. Болат төсемелі арқалықтар торында шабақ аралары 0,6÷1,6м, қосымша арқалықтар арасы 2÷5м шамасында қабылданады. Шабақтар мен қосымша арқалықтар прокатты профильдерден қабылдануы керек.

Арқалықтар торының түрін техника-экономикалық есеппен салыстыру арқылы шешу қажет. Салыстыру үшін келесі қағидаларды сақтау дұрыс:

- жабын конструкцияларының көтеру мүмкіндігін толық пайдалану, бұл кезде арқалықтар қимасын алдын-ала қабылдап. Олардың көтере алатын шекті жүгін анықтап, соған сәйкес қадамдарын анықтау;
- арқалықтар торының тиімділігі арқалықтар торы мен тіреулерінің бағаларының теңдігін қамтамасыз ететін шарты бойынша анықталады:

$$L_{утым} = \frac{B_m}{n \cdot B_a} \quad (104)$$

бұл жерде:  $B_m$  – тіреу бағасы;  $n$  – тіреуге тірелетін арқалықтар саны;  $B_a$  – арқалық бағасы;  $L_{ұтым}$  - арқалықтардың ұтымды аралығы.

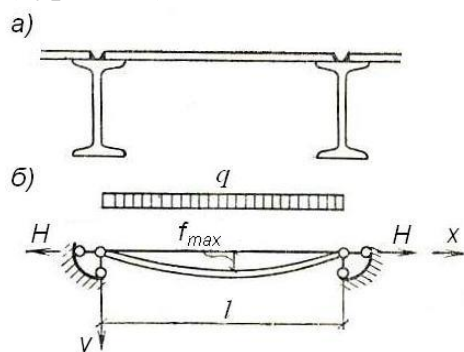
## 2.2. Арқалықтар торының төсемдері

Арқалықтар торының төсемдері – олардың атқаратын жұмыстары мен қабат жапқыштың конструктивтік шешімдіріне байланысты әртүрлі болады. Көбіне жүк көтергіш төсеме үстіне қорғайтын қабат қойылады. Олар ағаштан, асфальттан, кірпіштен. т.б. материалдардан жасалынады.

Жүк көтергіш төсеме ретінде көбінде болат қаңылтырлар немесе темірбетон жапқыштар қолданылады. Соңғы кезде дайын қалқан тәрізді, бойлық және ендік қатандық қырлары мен бекітетін төсемесі бар болат төсемелер қолданыла бастады. Төсеме қалқандардың өлшемдері  $3 \times 12$  м, олар қабат жапқыш арқалықтарға қойылады. Бұл тәріздес төсемелер монтаждауды тездетеді.

Қабат жапқыш төсемелерге берілетін бірқалыпты жайылған пайдалы жүк шамасын  $40 \text{ kH}/\text{м}^2$  - дейін қабылданады, ал шекті салыстырмалы иілу мөлшері  $\left[ \frac{f}{l} \right] \leq \frac{1}{150}$  аспауы керек.

**Болат төсеме.** Болат төсемелер арқалықтарға пісіріліп бекітіледі (сурет 68). Төсеме қойылатын арқалықтар арасы төсеменің беріктігі мен қатандығын қамтамасыз ету арқылы табылады. Материал шығынын азайтатын шешім – өте жұқа болат төсем.



Сурет 68. Жазық металл төсеніш  
а – төсеніштің арқалыққа тірелуі; б – есепті схема

Бұл шешім – арқалықтар қадамын азайтып, санын көбейтеді, даярлауды қиындатады. Сол себепті жүк:  $q < 10 \text{ kH}/\text{м}^2$  – болғанда, қаңылтыр қалыңдығы 6 – 8 мм

$10 \text{ kH}/\text{м}^2 < q < 20 \text{ kH}/\text{м}^2$  болғанда –

$t = 8 - 10 \text{ мм}$ ;  $21 < q \leq 30 \text{ kH}/\text{м}^2$  болғанда –

$t = 10 - 12 \text{ мм}$ ;  
 $q > 30 \text{ kH}/\text{м}^2 - t = 12 - 14 \text{ мм}$  етіп қабылдау

ұсынылады. Төсемелерді арқалыққа пісіріп бекіту олардың тіреулерін жүк әсерінен иілу кезінде жақындатпай қояды, сондықтан олардың төсеме жұмысын жақсартатын созатын күш  $H$  - пайда болады (сурет 68 б). Пісіру төсемелерді арқалықтарға қатаң бекітіп, сыртқы жүк әсерінен пайда болатын төсеме аралықтарындағы моменттерді азайтатын иілу моменттерін туғызады. Бірақ, төсемелердің көтеру қорын көбейту үшін төсемелерді арқалықтарға қатаң пісіріліп бекітетіні ескерілмейді де, олар тіреулерге топсалы бекітіледі деп есептелінеді. Сыртқы жүк  $50 \text{ kH}/\text{м}^2$  –

аспағанда, шекті салыстырмалы иілу мөлшері  $\frac{1}{150}$ -ден артпағанда, болат төсеме шеттері топсалы бекітілгенде төсеме беріктігі ылғи да қамтамасыз етіледі, сондықтан олардың тек қатаңдығын тексеру керек.

Төсеменің параллель арқалықтарға тірелуі оларды цилиндрлік бетпен майысады - деп есептеуге мүмкіндік береді. Бұндай төсемені есептеу үшін ойша ені 1 см екі шеттері топсалы бекітілген жолақты кесіп қарастырсақ (сурет 68 б), оның жүк әсерінен иілу мөлшері:

$$f = f_0 \frac{1}{1 + \alpha} \sin \frac{\pi x}{l}, \quad (105)$$

бұл жерде:  $f_0 = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{E_1 J}$  жолақ ортасының сыртқы жүк әсерінен иілу мөлшері;  $J E_u$  – жолақтың цилиндрлік қатаңдығы, яғни көлденең деформация тумаи иілгендегі қатаңдығы;  $E_u = \frac{E}{1 - \nu^2}$ ;  $\nu$  - Пуассон коэффициенті (болат үшін  $\nu = 0,3$ );  $d = \frac{H}{P_3}$ ;  $H$  – жолақты созатын тартпа күші;  $P_3 = \frac{\pi^2 E_1 J}{l^2}$  - Эйлер күші;  $l$  - төсеме аралығы.

С.П.Тимошенко теңдеуін пайдаланып және төсеменің нормативті жүк әсерінен иілу мөлшерін  $\left[ \frac{f}{l} \right]$  – берілген деп, А.Л.Телоян төсеменің ең үлкен аралығының оның қалыңдығына қатынасын берілген шекті иілу мөлшеріне байланысты теңдеуді тапқан:

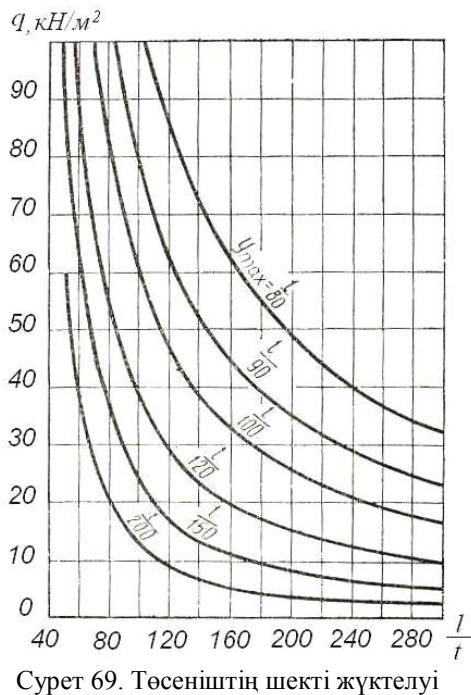
$$\left( \frac{l}{t} \right)^3 - \frac{96}{5n_0^3} \frac{E_1}{q} \left( \frac{l}{t} \right)^2 - \frac{32}{5n_0} \frac{E_1}{q} = 0,$$

осыдан жуық шамамен:

$$\frac{l}{t} = \frac{4n_0}{15} \left( 1 + \frac{72E_1}{n_0^4 \cdot q} \right), \quad (106)$$

бұл жерде:  $\frac{l}{t}$  төсеменің берілген аралығының оның шеткі иілу мөлшеріне қатынасы;  $q$  – төсемеге әсер ететін нормативті жүк. Іздеп отырған  $\left( \frac{l}{t} \right)$  шаманы С.П.Тимошенко жұмыстары негізінде С.Д.Лейтес тұрғызған графиктері бойынша (сурет 69) табуға болады. Төсеменің арқалықтарға бекітетін пісіру жігін тексеру үшін керекті тартпа күшті  $H$  келесі формуламен жуықтап табуға болады:

$$H = \gamma_f \cdot \frac{\pi^2}{4} \left[ \frac{f}{l} \right]^2 E_1 \cdot t \quad (107)$$



бұл жерде:  $\gamma_f$  – жүктер бойынша сенімділік коэффициенті.

Егер төсеме өлшемдері (қалыңдығы  $t$  және аралығы  $l$ ) белгілі болса, онда оның жүк көтеру мүмкіндігі мен иілу мөлшерін келесі өрнектерді пайдалана тексеруге болады:

$$\left. \begin{aligned} f &= f_0 \frac{1}{1+\alpha}; & H &= \frac{\pi^2 E_1 J}{l^2} \alpha; \\ \sigma &= \frac{H}{A} + \frac{M}{W}; & M &= M_0 \frac{1}{1+\alpha} \end{aligned} \right\} \text{бұл жерде: } M_0 = \frac{q \cdot l^2}{8} -$$

арқалықтың иілу моменті;  $A = 1 \cdot t$  төсеме жолағының қима ауданы мен қарсыласу моменті  $W = \frac{1 \cdot t^2}{6}$ ;  $\alpha - \alpha(1+\alpha^2) = 3 \left( \frac{f_0}{t} \right)^2$  - теңдеуін шешу арқылы табылады;  $f_0$  - арқалықтың иілу мөлшері.

**2.1 мысал.**  $BC_m$  3кп 2 маркалы болат төсеменің өлшемдерін анықтап және оның бекітуін есептеу керек. Берілгендері: бірқалыпты жайылған уақытша жүктің нормативті мәні –  $34,0 \text{ kH}/\text{м}^2$ ; жүк бойынша сенімділік коэффициенті  $\gamma_c = 1$ ; шекті салыстырмалы иілу мөлшері  $\left[ \frac{f}{l} \right] = \frac{1}{150}$  төсеме арқалықтарға Э 42 электродын пайдаланып пісіріліп бекітіледі.

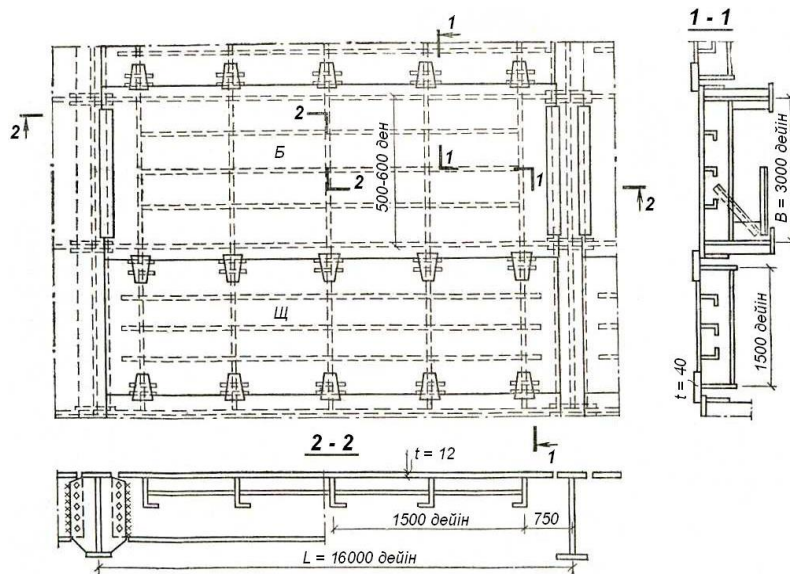
Төсеменің өлшемдерін (106) формуламен анықтаймыз:

$$\frac{l}{t} = \frac{4 \times 150}{15} \left( 1 + \frac{72 \times 2,26 \times 10^4}{150 \times 34 \times 10^4} \right) = 77,8$$

бұл жерде:  $E_1 = \frac{2,06 \cdot 10^4}{1 - 0,3^2} = 2,26 \cdot 10^4 \text{ kH}/\text{см}^2$  69 суреттегі график бойынша  $\frac{l}{t} = 82$ ;

Төсеме қалыңдығын  $t = 12 \text{ мм}$  - ге тең етіп қабылдасaq:  $l = 77,8 \cdot 1,4 = 108,92 \text{ см}$ ; (107) формуламен созатын тартпа күшті анықтаймыз:

$$H = 1,2 \cdot \frac{3,14^2}{4} \left( \frac{1}{150} \right)^2 \cdot 2,26 \cdot 10^4 \cdot 1,4 = 4,159 \text{ kH}/\text{см}^2$$



Сурет 70. Қалқанды төсеніш. Б – блок; Щ – қалқан

Жартылай автоматпен төменгі жікті төсеменің арқалыққа пісіріліп бекітілуін есептейміз:

$$\beta_f R_{of} = 0,9 \cdot \frac{3,14^2}{4} \cdot 0,55 = 16,63 \text{ кН/см}^2$$

$$\beta_z R_{oz} = 1,05 \cdot 0,45 \cdot 35,5 = 16,77 \text{ кН/см}^2 > 16,63 \text{ кН/см}^2$$

жіктегі катет биіктігі:

$$k_f = \frac{H}{\beta_f \cdot R_{of} \cdot \gamma_{of} \cdot \gamma_c \cdot \omega} = \frac{4,159}{16,63 \cdot 1 \cdot 1,1} = 0,25 \text{ см}$$

қабылдағанмыз = 4 мм.

### 2.3. Прокатты арқалықтар

Иілуге жұмыс істейтін прокатты арқалықтар үшін қоставрлар (МЕСТ 8239-72), белдеу беттері параллель *Б* түрлі қоставрлар (ТШ 14-2-24-72) және ғимараттың көлбеу жабуларында гидротехникалық қақпалардың төсеме арқалықтары – стрингерлерде швеллер (МЕСТ 8240-72) қолданылады. Прокатталған сортаменттердің түрлері көп, сол себепті керекті қарсыласу моменті  $W < 13000 \text{ см}^3$  кезінде иілетін элементтер үшін прокатты арқалықтарды қабылдау дұрыс.

### 2.3.1. Прокатталған арқалықтардың қимасын табу және олардың көтеру мүмкіндігін тексеру

Бас жазықтардың бірінде иілетін прокатталған арқалықтардың беріктігі иілу моменті бойынша келесі формуламен тексеріледі:

$$\sigma = \frac{M}{W_{нт}} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad (108)$$

Керекті қарсыласу моменті:

$$W_{кер} = \frac{M_{max}}{R_y \gamma_c} \quad (109)$$

бұл жерде:  $R_y$  – болаттың иілгендегі есепті қарсыласуы;  $\gamma_c$  – жұмыс шарты коэффициенті.

Прокатталған профильдердің номерін анықтаған соң оның беріктігін серпімділік – созылымдылық сатыда жұмыс істегенде болаттың аққыштық шегі 580 кіші болғанда, жанама кернеу  $\sigma = 0,9 \cdot R_s$  болғанда арқалық бас жазықта иілгенде

$$\sigma = \frac{M_{max}}{c_1 \cdot W_{нт}} < R_y \cdot \gamma_c \quad (110)$$

Екі жазықтықта иілгенде, және  $\sigma = 0,9 \cdot R_s$  болғанда:

$$\sigma = \frac{M_x}{c_x \cdot W_{x.нт}} \pm \frac{M_y}{c_y \cdot W_{y.нт}} < R_y \gamma_c \quad (111)$$

бұл жерде:  $M_{max}, M_x, M_y$  – иілу моменттерінің мәндері;  $\tau < 0,5 \cdot R_s$  болғанда  $c_1 = c$ ; ал  $0,5 \cdot R_s < \tau < 0,9 \cdot R_s$  болғанда  $c_1 = 1,05 \beta \cdot c$ ;  $c_x, c_y, c_1$  – созылымдылық деформациялардың дамуын ескеретін коэффициенттер;  $R_s$  – болаттың ығысуға есепті қарсыласуы;  $W_{нт}, W_{x.нт}, W_{y.нт}$  – қимасының бас өстері бойынша қарсыласу моменттері.

$$\beta = \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{\tau}{R_s}\right)^2}{1 - \alpha \cdot \left(\frac{\tau}{R_s}\right)^2}} \quad \text{және} \quad \tau = \frac{Q}{th};$$

қабырға жазықтығында иілетін қоставрлы қима үшін –  $\alpha = 0,7$ ; басқа қималар үшін –  $\alpha = 0$

Таза иілу аймағы бар кезде коэффициенттері келесі өрнектермен табылады:

$$c_{1m} = 0,5 \cdot (1 + c); \quad c_{x,m} = 0,5 \cdot (1 + c_x); \quad c_{y,m} = 0,5 \cdot (1 + c_y)$$

Бір жазықта иілетін арқалықтардың серпімді-созылымдылық деформациясының дамуын ескергенде қарсыласу моменті келесі формуламен анықталады:

$$W_t = \frac{M_{\max}}{c_1 \cdot R_y \cdot \gamma_c} \quad (112)$$

бұл жерде:  $c_1 \approx 1,1$  етіп қабылданып кейінгі есептеулерде тура анықтап қолданылады.

Қабылданған қиманың ығысуға беріктігі келесі формуламен тексеріледі:

$$\tau = \frac{Q_{\max} \cdot S}{t_w \cdot J} \quad (113)$$

бұл жерде:  $Q_{\max}$  – тіреудегі ең үлкен көлденең қиюшы күш;  $S$  және  $J$  – қиманың статикалық моменті мен инерция моменті;  $t_w$  – арқалықтың қабырғасының қалыңдығы.

Арқалықтың беріктігінен басқа жалпы орнықтылығы да тексеріледі. Егер жүк қатаң төсем арқылы берілетін болса, сығылатын белдеудің жылжуына кедергі жасайтын болса, сығылатын белдеулердің байланыстары арасындағы бөлім ұзындығы мен белдеу енінің қатынастары:

$$1 \leq \frac{h}{b_f} \leq 6 \text{ және } \frac{b_f}{t_f} \leq 35 \text{ болғанда,}$$

$$\frac{l_0}{b_f} = \delta \left[ 0,41 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + \left( 0,73 - 0,116 \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_0} \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (114)$$

(114) формулада  $b_f$  және  $t_f$  сығылатын белдеудің ені мен қалыңдығы;  $h_0$  – белдеу өстерінің ара қашықтығы;  $\delta = \left[ 1 - 0,7 \frac{c_1 - 1}{c - 1} \right]$  серпімді жұмыс істейтін арқалық үшін  $\delta = 1$ ).

Сығылатын белдеулері жеткіліксіз бекітілген арқалықтың жалпы орнықтылығы төменгі формуламен тексеріледі:

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_{\sigma} \cdot W_c} < R_y \cdot \gamma_c \quad (115)$$

бұл жерде:  $W_c$  – сығылатын белдеудің қарсыласу моменті;  $\gamma_c$  – арқалықтардың жалпы орнықтылығы тексерілгенде 0,95 –ке тең етіп қабылданатын жұмыс шарты коэффициенті.

Егер  $\varphi_1 < 0,85$  болғанда және  $\varphi_{\sigma} = 0,68 + 0,21\varphi_1$  (егер  $\varphi_1 > 0,85$ ) болғанда, онда қоставрлы қималы екі симметрия өсі бар арқалықтар үшін  $\varphi_{\sigma} = \varphi_1$  етіп қабылданады.

Бұл жағдайда орнықтылығын жоғалтар кезде  $\varphi_1$  – материалдың серпімділік – созылымдылық сатысында келесі формуламен анықталады:

$$\varphi_1 = \psi \cdot \frac{J_y}{J_x} \cdot \left( \frac{h}{l_0} \right)^2 \frac{E}{R} \quad (116)$$

бұл жерде:  $\psi$  - арқалықтың бекітілуін жүктің әсер ететін жеріне және қиманы сипаттайтын  $\alpha$  параметріне байланысты.

Қоставрлы қималы арқалықтың аралығында сығылатын белдеудің екі жерінен бекіткенде, олар аралықты өзара тең бөлгенде:  $0,1 \leq \alpha \leq 40$  болғанда жүктің қай белдеуге әсер еткеніне қарамастан жүктің түріне қарамастан  $\psi = 2,25 + 0,07\alpha$ . Қоставрлы прокаттар үшін:

$$\alpha = 1,54 \frac{J_{\sigma}}{J_y} \left( \frac{l_0}{h} \right)^2 \quad (117)$$

бұл жерде:  $J_{\sigma}$  – қиманың бұрағандағы инерция моменті.

Басқа қималы арқалықтардың орнықтылықтарын тексеру. ҚР ҚНЖЕ 5.04-23-2002 сәйкес жүргізілуі керек.

Егер де тексеру кезінде арқалықтардың орнықтылығы қамтамасыз етілмесе, онда оның сығылатын белдеуінің есепті ұзындығын қосымша байланыс қою арқылы қысқарту керек.

Прокатты арқалықтың белдеуі мен қабырғаларының жергілікті орнықтылықтарын тексермесе де болады, өйткені прокаттау кезінде қабылданған өлшемдері олардың жергілікті орнықтылықтарын қамтамасыз етеді.



### 2.3.2. Арқалықтардың қатандығын тексеру

Екінші топқа қатысты арқалықтың шектік жағдайлары құрылымды қалыптағыдай пайдалану шартын орындау үшін арқалықтың нормативті жүк әсерінен материалдың серпімді жұмыс сатысында иілу мөлшерін анықтау арқылы тексеріледі. Анықтаған иілу мөлшері арқалық қатандығының өлшемі болып есептелінеді және ол арқалықтың түріне байланысты.

$$\frac{f}{l} \leq \left[ \frac{f}{l} \right] \quad (118)$$

Бірқалыпты еркін жатқан арқалыққа бірқалыпты жайылған жүк әсер еткенде, иілу мөлшері келесі формула бойынша анықталады:

$$f = \frac{5}{384} \frac{q^n \cdot l^4}{EJ} \quad (119)$$

Егер (118) формуладағы шарт орындалмаса, арқалық қимасын үлкейту керек, немесе беріктігі толық пайдаланылмаған арқалықты қабылдау керек, бірақ бұл шешім тиімді емес.

**2.2. мысал.** Металл төсемелі арқалықтар алаңын 36x18 м және ұстындар торын 12x6 м жобалау керек.

**Берілгендері:** уақытша бірқалыпты жайылған жүктің нормативті мәні  $34 \text{ кН/м}^2$  жүк бойынша сенімділік коэффициенті  $\gamma_f = 1,2$ ; материалы ВСтЗкп2 маркалы болат (МЕСТ 380-71), оның есепті қарсыласуы  $R_y = 230 \text{ МПа} = 23,0 \text{ кН/см}^2$ ; жұмыс шарты коэффициенті  $\gamma_c = 1$ ; арқалықтың шекті иілу мөлшері  $\left[ \frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250}$ .

Арқалық алаңын жинақтаудың екі вариантын қарастырамыз: бірінші – қалыптағыдай (сурет 71 а); екіншісі – күрделі (сурет 71 б) түрі.

**Бірінші вариант.** Төсеменің есептелуі 1.1 мысалда келтірілген. Төсеменің қалыңдығын 14мм-ге, шабақтар арасын 1м-ге тең етіп қабылдаймыз.

Төсеменің арқалықтарын (шабақтарды) санау үшін оған әсер ететін жүк шамаларын анықтаймыз:

Төсеменің салмағы:  $q^n = \rho \cdot t = 78,5 \cdot 0,014 = 1,1 \text{ кН/см}^2$ ; бұл жерде  $\rho$  – болат тығыздығы -  $78,5 \text{ кН/м}^3$  тең. Шабаққа әсер ететін жүктердің нормативті мәні:

$$q^n = (q^n + p^n) \cdot a = (1,1 + 34) \cdot 1 = 35,1 \text{ kH/м}$$

бұл жерде:  $a$  – шабақтардың қадымы.

Жүктердің есепті мәні:

$$q = q^n \cdot \gamma_f + p^n \cdot \gamma_f = 1,1 \cdot 1,05 + 34 \cdot 1,2 = 41,95 \text{ kH/м}$$

Иілу моментінің есепті мәні:

$$M_{max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{41,95 \cdot 6^2}{8} = 188,775 \text{ kH} \cdot \text{м}$$

Арқалықтардың керекті қарсыласу моментін созылымдылық деформацияның дамуын ескере,  $c = 1,12$  етіп анықтаймыз:

$$W_{int} = \frac{M_{max} \cdot \gamma_n}{c \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{18877,5 \cdot 0,95}{1,12 \cdot 23 \cdot 1} = 966,18 \text{ см}^3$$

бұл жерде:  $R_y = 23 \text{ kH/см}^2$ . ВСт3кп2 маркалы болаттың аққыштық шегі бойынша қабылданған есепті қарсыласуы.

Қабылдағанымыз: № 40 – швеллер, қарсыласу моменті –

$$W_x = 761 \text{ см}^3; \quad J_x = 15220 \text{ см}^4; \quad t = 0,8 \text{ см}; \quad S = 444 \text{ см}^3; \quad A = 61,5 \text{ см}^2$$

салмағы -  $q^n = 48,3 \text{ кг/м}$ .

Кернеулігі:

$$\sigma = \frac{M_{max} \cdot \gamma_n}{c \cdot W_y} = \frac{18877,5 \cdot 0,95}{1,12 \cdot 761} = 21,04 \text{ kH/см}^2 < 23 \text{ kH/см}^2$$

Иілу мөлшерін (125) формула бойынша табамыз:

$$f = \frac{5 \cdot 0,351 \cdot 600^4}{384 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot 15220} = 1,89 \text{ см} < 2,4 \text{ см} = \left[ \frac{1}{250} \right]$$

Қабылдаған арқалығымыздың беріктігі де, қатаңдығы да жеткілікті. Прокатталған арқалықтағы жанама кернеуді анықтап беріктігін тексермесе де болады, өйткені олардың қабырғалары қалың болғандықтан, тіреу қималары әлсіремеген болса, беріктігі қамтамасыз етіледі.

Арқалықтың жалпы орнықтылығын тексеру қажет емес, өйткені оның сығылатын белдеуіне тұтас болат төсеме пісіріліп бекітіледі.

Металл шығыны: төсеме –  $110 \text{ кг}/\text{м}^2$ ; арқалық  $\frac{g}{a} = \frac{48,3}{1} = 48,3 \text{ кг}/\text{м}^2$ ;

Барлығы –  $110 + 48,3 = 158,3 \text{ кг}/\text{м}^2$ .

**Екінші вариант.** Төсеме және шабақ арақашықтығын бірінші варианттағыдай етіп қабылдаймыз. Қосымша арқалықтың материалы 09Г2, есепті қарсыласуы  $R_y = 29 \text{ кН}/\text{см}^2$ . Шабақ аралығы 4м. Әсер ететін жүктердің нормативті және есепті мәндері:

$$q'' = (q'' + p'') \cdot a = (1,1 + 34) \cdot 1 = 35,1 \text{ кН}/\text{м}$$

$$q = q'' \cdot \gamma_f + p'' \cdot \gamma_f = 1,1 \cdot 1,05 + 34 \cdot 1,2 = 41,95 \text{ кН}/\text{м}$$

Иілу моментінің есепті мәні:

$$M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{41,95 \cdot 4^2}{8} = 83,9 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$W_{\text{ит,кер}} = \frac{83,9 \cdot 10^2 \cdot 0,95}{1,12 \cdot 23 \cdot 1} = 309,41 \text{ см}^3$$

қабылдағанымыз: №27 – швеллер,  $W_x = 308 \text{ см}^3$ ;  $J_x = 4160 \text{ см}^4$ ;  
 $t = 1,05 \text{ см}$ ;  $S = 178 \text{ см}^3$ ;  $A = 35,2 \text{ см}^2$  салмағы -  $q'' = 27,7 \text{ кг}/\text{м}$ .

$$\text{Кернеулілігі: } \sigma = \frac{83,9 \cdot 10^2 \cdot 0,95}{1,12 \cdot 308} = 23,1 \text{ кН}/\text{см}^2$$

Иілу мөлшерін (125) формула бойынша табамыз:

$$f = \frac{5}{384} \frac{0,351 \cdot 400^4}{4160 \cdot 2,16 \cdot 10^4} = 1,30 \text{ см} \quad \left[ \frac{4}{250} \right] = 1,6 \text{ см}$$

қабылдаған қиманың беріктігі, қатаңдығы жеткілікті.

Қосымша арқалыққа әсер ететін жүкті бірқалыпты жайылған деп қабылдаймыз.

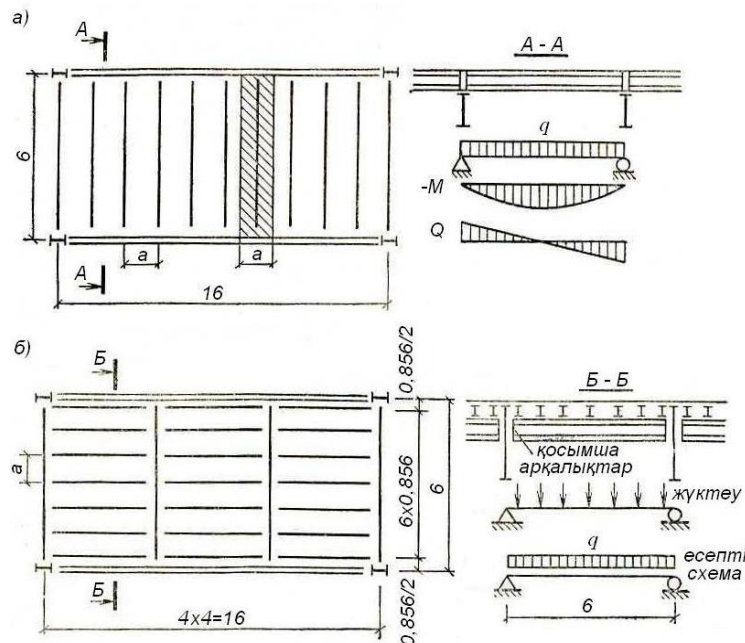
$$g'' = \left( 34 + 1,1 + \frac{0,277}{4} \right) \cdot 4 = 140,677 \text{ кН}/\text{м}$$

$$q = (34 \cdot 1,2 + 1,1 \cdot 1,05 + 0,069 \cdot 1,05) \cdot 4 = 168,108 \text{ кН}/\text{м}$$

Иілу моментінің есепті мәнін анықтаймыз:

$$M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{168,108 \cdot 6^2}{8} = 756,486 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Керекті қарсыласу моменті:



Сурет 71. Мысалға.

а - қалыпты үйлестіру, б- күрделі үйлестіру

$$W_{\text{ит,кер}} = \frac{756,485 \cdot 10^2 \cdot 0,95}{1,12 \cdot 29 \cdot 1} = 2212,6 \text{ см}^3$$

қабылдағанымыз: №60–қоставр,  $W_x = 2560 \text{ см}^3$ ;  $A = 138 \text{ см}^2$ ;  $J_x = 76806 \text{ см}^4$ ;  
салмағы -  $q'' = 108 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$ .

Иілу мөлшерін (119) формула бойынша табамыз:

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{1,46677 \cdot 600^4}{76806 \cdot 2,06 \cdot 10^4} = 1,49 \text{ см} < 2,4 \text{ см} = \left[ \frac{600}{250} \right]$$

қабылдаған қиманың беріктігі, қатаңдығы жеткілікті.

Қосымша арқалықтың ең үлкен тік кернеуі бар қимасындағы жалпы орнықтылығын тексереміз.

Оның сығылатын белдеуі көлденең жылжудан шабақтармен, оларға бекітілген болат төсемен бекітілген. Бұл кезде, шабақтардың арасы есепті ұзындығы ретінде қабылданады  $l_0 = 100 - 9,5 = 90,5 \text{ см}$ .

(114) формуланың шарты бойынша:

$$1 < \frac{h}{b} < \frac{60}{19} = 3,15 < 6; \quad \frac{b}{t} = \frac{19}{1,78} = 10,67 < 35$$

$\frac{1}{2}$  - тең қимада  $\tau = 0$  және  $c_1 = c$  болғанда  $\sigma = \left[ 1 - 0,7 \frac{(c_1 - 1)}{c - 1} \right] = 0,3$  (120) формулаға  $\sigma$  мәнін қойып анықтаймыз:

$$\frac{l_0}{b} = \delta \cdot \left[ 0,41 + 0,0032 \frac{b}{t} + \left( 0,73 - 0,016 \frac{b}{t} \right) \frac{b}{h} \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 0,3 \cdot \left[ 0,41 + 0,0032 \times \frac{19}{1,78} + \right. \\ \left. + \left( 0,73 - 0,016 \times \frac{19}{1,78} \right) \times \frac{19}{55} \times \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{29}} \right] = 4,95 < \frac{90,5}{12} = 4,76$$

қабылданған қиманың жалпы орнықтылығы қамтамасыз етіледі.

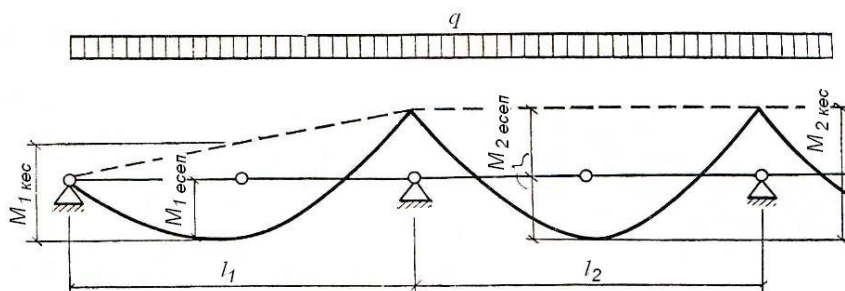
Екінші варианттағы металл шығыны:  $q = 110 + 27,7 + \frac{108}{4} = 164,7 \text{ кг/м}^2$

Металл шығыны бойынша I вариант тиімдірек.

### 2.3.3. Кесілмеген және қатаң бекітілген арқалықтар материалдарының созылымдылық сатыдағы жұмыс істеуін ескеру

Кесілмеген және қатаң бекітілген арқалықтар материалындағы серпімділік-созылымдылық сатыдағы жұмыс істеуін арқалықта немесе тіреуде созылымдылық топсасы пайда болғанша созуға болады. Бұл кезде, жүйе өзінің геометриялық өзгермеуін сақтайды, жүктің өсуін қабылдай алады, иілу мөлшері жәйлап өседі. Бірақтан жүктің өсуінен созылымдылық топсасындағы момент көбейе алмай тұрақты шамасында қалады, ал деформациясы өседі, арқалықтың серпімді жұмыс істейтін қималарындағы момент бірте-бірте өсе түседі, сөйтіп арқалықтың әртүрлі қималарындағы моменттер теңесе түседі (сурет 72). Жүйенің бұл секілді жұмысы арқалықтың бір аралығында үш топса пайда болғанша созыла береді. Үш топса пайда болғанда жүйе құбылмалы болады және ондағы деформация өте тез өсе бастайды.

Статикалық жүк көтеретін жалпы орнықтылықтары қамтамасыз етілген, ең қатаң жазықтықта иілетін және жанама кернеу  $0,9R_s$  артпайтын, кесілмеген қоставрлы тұрақты қималы (прокатталған және пісірілген) арқалықтардың қатар жатқан аралықтарының ауытқулары 20% артпағанда, ең үлкен иілу моменті әсер ететін жерде, иілу моментінің есепті мәнін тіреудегі және аралықта қайтадан бөлінетіндігін табуға ҚРҚНЖЕ 5.04.23-2002 рұқсат етеді.



Сурет 72. Кесілмеген арқалықты иілімділік деформациясын ескере отыра есептеу сұлбасы

Бұндай арқалықтардың беріктігі (110) формула бойынша тексеріледі, ал иілу моментінің есепті мәні олардың қайта бөлінуін ескере келесі формуламен анықталады:

$$M = \alpha \cdot M_{max} \quad (120)$$

бұл жерде:  $M_{max}$  – иілу моментінің тіреуде не аралықтағы ең үлкен мәні, ол кесілмеген арқалықтағы материалдың серпімді жұмыс істейді дейтін жорамал негізінде анықталады  $\alpha = 0,5 \left( 1 + \frac{M_{шарт}}{M_{max}} \right)$  - моменттерді қайта бөлетін

коэффициент;  $M_{шарт}$  – шартты тиілу коэффициенті, шеттері еркін тірелетін кесілмеген арқалықтар үшін келесі моменттердің ең үлкен шамасы қабылданады:  $M_{шарт} = \frac{M_1}{1 + \left( \frac{a}{l} \right)}$  немесе  $M_{шарт} = 0,5M_2$ ,  $M_1$  және  $M_2$  шеткі және

орта аралықтағы еркін жатқан бір аралықты арқалықтар тәріздес  $a = l_1/2$  кездегі иілу моменттері.

Төр аралықты аралықтары бірдей бірқалыпты жайылған жүк әсер ететін арқалықтар  $\alpha = 0,889$ , ал есепті моменті тіреуде ең үлкен және  $M = 0,095 \cdot q \cdot l^2$ .

### 2.3.4. Құрама қималы арқалықтың қимасын таңдау және жинақтау

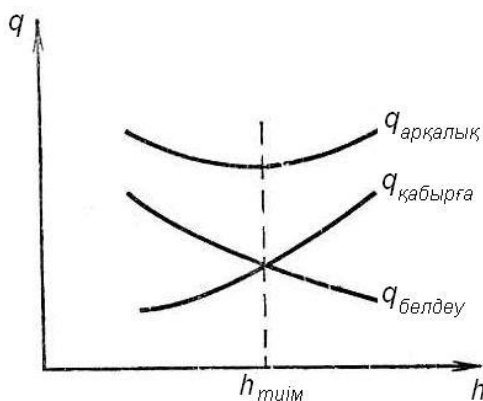
Үлкен аралықта және үлкен иілу моменті әсер еткенде, прокатталған арқалықтардың беріктігі мен қатаңдығы қамтамасыз етілмей қалады, сол себепті құрама қималы арқалықтар қолданылады. Олардың қималарының негізгі түрлері 65 в, з суреттерінде келтірілген.

Құрама қималы арқалықтар негізінен пісірілген болып келеді. Пісірілген арқалықтар беріктігі аса жоғары болтты арқалықтарға қарағанда тиімдірек. Олар үш қаңылтырдан тұрады: тік қабырға және екі белдеулерден, олар өзара автоматпен пісіріліп бекітіледі. Өте үлкен динамикалық, вибрациялық жүк әсер ететін арқалықтар (кран асты арқалық, көпірдің арқалығы, гидротехникалық қақпа арқалықтары) кейбір кезде тойтарма шегелі арқалықтар пісірілген арқалықтарға қарағанда ауырлау және даярлануы қиындау. Бірақ динамикалық, вибрациялық жүктер әсер еткенде оларды қолдану тиімдірек.

Құрама арқалықтарда материал шығынын азайту үшін ұзына бойына иілу моментінің эпюрасына сәйкес қимасын өзгертеді. Бұндай арқалықтарда материалдың серпімділік – созылымдылық сатыдағы жұмысы прокатталған арқалықтардағы шектеулерді сақтай рұқсат етіледі. Құрама арқалықтар қималарын жинақтау варианттарды салыстыра шешіледі, және дұрысы тиімділігі мен технологиялығына байланысты.

#### Арқалықтың биіктігі

Жинақтау арқалықтың беріктігін анықтаудан басталады. Арқалық биіктігі материалдың беріктігіне, иілу мөлшерінің рұқсат етілген шамасына, құрылымдағы құрылыс биіктігіне, яғни төсеменің жоғары бетінің деңгейімен ғимарат жапқыштың төменгі деңгейлерінің айырмашылықтарына байланысты.



Сурет 73. Арқалық салмағының қима биіктігіне тәуелділік графигі

Негізінде құрылыс биіктігін технологтар мен сәулетшілер анықтайды. Арқалықтың ұтымды биіктігі материалды тиімді қолдануға байланысты. Арқалықтың массасы оның белдеулері мен қабырғаның және кейбір конструктивтік элементтердің массаларының қосындысынан тұрады. Конструктивтік элементтер массалары конструктивтік коэффициенттер арқылы ескеріледі.

Арқалықтың биіктігі өссе, белдеуі кішірейеді, белдеуі өссе, биіктігі кішірейеді, ал олардың массалары өлшемдеріне тікелей байланысты (сурет 73).

Арқалық биіктігі өссе, белдеу массасы кішірейеді, сол себепті егер қабырға массасын және белдеу массаларын өрнектейтін функциялар-ды тауып оларды зерттесек, онда арқа-лықтың ұтымды биіктігін табуға болады.

Арқалықтың 1м ұзындығының толық массасы белдеулер мен қабырға массаларының қосындысына тең:

$$q_a = q_{\delta} + q_{\omega} = 2 \cdot \frac{c \cdot M}{h \cdot R_y} \cdot \psi_{\delta} \cdot \rho + h \cdot t_{\omega} \cdot \psi_{\omega} \cdot \rho$$

бұл жерде:  $c$  - белдеулер қабылдайтын момент бөлігі;  $M$  – аралыққа әсер ететін есепті момент;  $R_y$  – материалдың есепті қарсыласуы;  $t_{\omega}$  - арқалық қабырғасының қалыңдығы;  $\psi_{\delta}, \psi_{\omega}$  – белдеулер мен қабырғаның конструктивтік коэффициенттері;  $\rho$  – материалдың тығыздығы.

Арқалық массасының ең кіші мәнін табу үшін арқалық массасы өрнегінің биіктік бойынша туындысын тауып нөлге теңестіреміз:

$$\frac{dq_{\delta}}{dh} = -\frac{2c \cdot M}{h^2 \cdot R_y} \psi_{\delta} \cdot \rho + t_{\omega} \cdot \psi_{\omega} \cdot \rho = 0$$

осы жерде  $M/R_y = W$  ауыстырып  $h$  – табамыз:

$$h_{\text{ұтым}} = \sqrt{\frac{2c \cdot \psi_{\delta}}{\psi_{\omega}}} \cdot \sqrt{\frac{W}{t_{\omega}}} = k \sqrt{\frac{W}{t_{\omega}}} \quad (122)$$

бұл жерде:  $k$  – коэффициенті арқалықтың конструктивтік шешімдеріне байланысты. Коэффициент мәнін пісірілген арқалықтар үшін 1,2...1,15, ал тойтармалы шегелі арқалықтар үшін 1,25...1,2 тең етіп қабылдауға болады.

Табылған ұтымды биіктікті өте дәл шама деп қабылдауға болмайды, өйткені, арқалық қабырғасының қалыңдығы, биіктігі мен қалыңдығының қатынастары тұрақты шамалар емес. Табылған ұтымды биіктікті алдын-ала қабылдау арқылы арқалық өлшемдерін анықтауға болады.

(122) формуламен анықталған арқалық биіктігі ең тиімдісі болып есептелінеді, өйткені арқалық биіктігі одан ауытқыса онда материал шығыны көбейіп кетеді.

Арқалықтың ұтымды биіктігі қабырға мен белдеулер массаларының теңдігіне сәйкес келеді. Ұтымды биіктіктің 20% ауытқуы – арқалық массасын 4 % - ке көбейтеді, арқалықтың қатаңдығын қамтамасыз ету



шартынан оның иілу мөлшерін шектеу арқылы арқалықтың ең кіші биіктігі табылады.

Бірқалыпты жайылған жүк әсер ететін арқалықтың иілу мөлшерінің формуласына қойсақ:  $f = \frac{5}{48} \frac{M'' l^2}{EJ}$  - өрнекті аламыз. Иілу моменті  $M'' = W \cdot \sigma_{(p+q)}$  және  $J = W \frac{h}{2}$ , бұл жердегі  $\sigma_{(p+q)}$  - арқалықтағы  $(p'' + q'')$  - қосындысынан пайда болған кернеу, ал  $(p'' + q'')$  - тұрақты және уақытша жүктердің нормативті мәндері иілу мөлшерінің формасына алынған өрнектерді қойсақ:

$$f = \frac{5 \cdot \sigma_{(p+q)} \cdot l^2}{24 E h} \text{ немесе } h = \frac{5}{24} \frac{\sigma_{(p+q)} \cdot l}{E} \cdot \left( \frac{l}{f} \right) \quad (123)$$

бұл жерде:  $\sigma_{(p+q)} = R_y \frac{p'' + q''}{\gamma_{fp} \cdot p'' + \gamma_{fq} \cdot q''}$ ;  $R_y$  – материалдың есепті қарсыласуы;

$\gamma_{fp}, \gamma_{fq}$  – жүктер бойынша сенімділік коэффициенттері.  $\sigma_{(p+q)}$  - орнына алынған өрнекті қойып  $h_{\min}$  табамыз.

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \frac{R_y \cdot l}{E} \cdot \left[ \frac{l}{f} \right] \cdot \frac{p'' + q''}{\gamma_{fp} \cdot p'' + \gamma_{fq} \cdot q''} \quad (124)$$

Материалды серпімділік – созылымдылық сатыда жұмыс істейтін арқалықтар үшін ең кіші биіктік:

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \frac{c_1 \cdot R_y \cdot l}{E} \cdot \left[ \frac{l}{f} \right] \cdot \frac{p'' + q''}{\gamma_{fp} \cdot p'' + \gamma_{fq} \cdot q''} \quad (125)$$

бұл жерде:  $c$  – созылымдылық коэффициенті.

**Арқалық биіктігін таңдау.** Арқалық биіктігін ең кіші биіктіктен артық немесе тең ұтымды биіктікке жуықтау шамаға теңестіріп, құрылыс биіктігінен төсеме қалыңдығын қосқанда арттырмай шығарылатын стандартты қаңылтыр өлшемдеріне сәйкес 100 мм-ге бөлінетіндей етіп қабылдау керек.

### Қабырға қалыңдығы

Арқалық биіктігінен кейінгі негізгі бір параметр – қабырға қалыңдығы. Оның ығысуға жұмыс істеу шартына байланысты Н.Г.Журавский формуласын пайдалана табуға болады:

$$\tau = \frac{QS}{t_{\omega} J} < R_s \gamma,$$

бұл жерде:  $Q$  – ең үлкен көлденең қиюшы күш;  $S$  – арқалықтың жарты қимасының бейтарап өске қарағанда статикалық моменті;  $J$  – арқалық қимасының инерция моменті;  $t_{\omega}$  – қабырға қалыңдығы;  $R_s$  – қабырға материалының ығысуға есепті қарсыласуы.

Ұтымды қималы арқалықтарда белдеу аудандары қабырға ауданына тең болғанда ішкі екі қос күштер иіні  $J/S \approx 0,85h$ .

Бұл алынған шаманы Н.Г.Журавский формуласына қойып өрнекті түрлендіріп табамыз:

$$t_{\omega} = \frac{Q \cdot S}{J \cdot R_s} \approx \frac{1,2 \cdot Q}{h \cdot R_s} \quad (126)$$

Кесілген пісірілген арқалық кесік шетін пісіріп бекітілген тіреу қабырғасы арқылы тірелгенде, арқалықтың тіреу қимасында ығысуға тек тіреу қабырғасы ғана жұмыс істейді, өйткені белдеулер арқалық қимасының жұмысына әлі қосылып үлгермейді. Онда ішкі қос күштер иіні

$$\frac{J}{S} = \frac{t_{\omega} \cdot h^3}{12} \cdot \frac{8}{t_{\omega} \cdot h^2} = \frac{2}{3} h \text{ тең.}$$

Бұл кезде қабырға қалыңдығы:

$$t_{\omega} \geq \frac{Q \cdot S}{J \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{3}{2} \frac{Q}{h \cdot R_s} \quad (127)$$

Симметрия қималы, жергілікті жүк әсер етпейтін  $\sigma_{жс} = 0$  созылымдылық деформациясы дамиды арқалықтарда, егер  $\sigma_{жс} < 0,9R_s$ ;  $A_f/A_{\omega} \geq 0,25$  және  $2,2 < \bar{\lambda}_{\omega} \leq 6$  шарттары орындалса, онда арқалықтың көтеру мүмкіндігін созылымдылық деформациясының дамуын ескере келесі формуламен анықталады:

$$M \leq R_s \cdot \gamma_c \cdot h_0^2 \cdot t_{\omega} \cdot \left( \frac{A_f}{A_{\omega}} + \alpha \right) \quad (128)$$

бұл жерде:  $\alpha = 0,24 - 0,15 \cdot \left( \frac{\tau}{R_s} \right)^2 - 8,5 \cdot 10^{-3} (\bar{\lambda}_{\omega} - 2,2)^2$ ;  $\tau = \frac{Q}{h_{\omega} \cdot t_{\omega}}$  арқалықтың

тексерілетін қимасындағы орташа жанама кернеу;  $\gamma_c$  – конструкциялардың жұмыс шарты коэффициенті.

Қабырғаның жергілікті орнықтылығын қосымша бойлық қатаңдық қабырғасымен бекітпей қамтамасыз ету үшін  $\bar{\lambda}_\omega < 5,5$  кіші болуы керек, онда

$$t_\omega \geq \frac{h_\omega \sqrt{R_y / E}}{5,5} \quad (129)$$

Биіктігі 2м артық арқалықтарда бұл шешім аса тиімді емес. Қабырғасы жұқа арқалықтардың қатаңдық қырларымен бекіткенде, тиімді конструктивтік шешім болуы мүмкін.

Биіктіктері 1 – 2м аралығындағы арқалықтар үшін қабырғаның тиімді қалыңдығын эмперикалық формуланы қолдана табуға болады:

$$t_\omega = 7 + \frac{3 \cdot h_a}{1000} \text{ мм} \quad (130)$$

бұл жерде:  $h_a$  – арқалық биіктігі, аралықтың 10% жуық қабылданады. Қабырға қалыңдығын прокатталған қаңылтыр қалыңдығымен сәйкестендіру керек. Қабырға қалыңдығын 8 мм-ге тең, не артық қабылдау керек, 12мм-ге дейін 1 мм-ге, ал 12мм-ден артқанда 2 мм-ге бүтін бөлінетіндей етіп қабылданады.

Арқалықтың ұтымды биіктігін табу үшін қабырға қалыңдығын (122) немесе (127) формулалармен тауып (126) формулаға қою керек. Егер алдын ала қабылданған қабырға қалыңдығы кейінгі анықталған мәнінен ауытқуы 2 мм-ден артық болса, онда арқалықтың ұтымды биіктігі қайтадан есептеледі.

### Арқалық белдеулері

Пісірілген арқалықтар үшін белдеу әмбебап болат қаңылтырынан қабылданады. Пісірілген арқалықтар белдеулерін екі немесе үш қаңылтырдан даярлау тиімді емес, өйткені олардың шеттерін пісіріп біріктіргенде, соңғы қабатына күш сызықтары біркелкі жайылмайды, ол арқалықтың жұмыс істеу сұлбасын нашарлатады.

Белдеу қаңылтырының қалыңдығын қабырға қалыңдығынан 2-3 есеге жуық артық қабылдайды. Егер белдеу қалыңдығын одан да артық қабылдаса, онда өте қалың қаңылтырды пісіріп бекіту кезінде сему кернеулері көбейіп кетеді. Белдеулер үшін қалыңдығы мм қаңылтырлар қабылдау аса тиімді емес, өйткені прокатталған болаттар қалыңдығы артқан сайын болаттың аққыштық шегі бойынша анықталған есепті қарсыласу мәні төмендеп кетеді.

Белдеу енін көбінде  $\left(\frac{1}{3} \dots \frac{1}{5}\right)$  аралығында арқалықтың жалпы орнықтылығын қамтамасыз ету шартына байланысты қабылданады.

Конструктивтік талаптарға байланысты белдеу енін 180 мм-ден және  $\frac{1}{10}h$  аз етіп қабылдауға болмайды.

Арқалықтардың белдеулерінің шығысының оның қалыңдығына қатынасы серпімді жұмыс істейтін қималар үшін келесі шамадан аспауы керек:

$$\frac{b_{шығ}}{t_f} \leq 0,5\sqrt{E/R_y}, \quad (131)$$

Созылымдылық деформация дамиды кималарда  $\frac{b_{шығ}}{t_f} = 0,11 \frac{h_0}{t_\omega}$ , бірақ  $0,5\sqrt{E/R_y}$  аспауы керек (131, а)

бұл жерде:  $h$  – бір қалыптың есепті биіктігі;  $t_\omega$  – арқалық қабырғасының қалыңдығы.

Созылатын белдеулер үшін белдеу бойына кернеу бірқалыпты тарамайтындықтан екі қалыңдығынан 30 есе артық қабылданбауы керек.

### 2.3.5. Арқалықтың қимасын таңдау

Арқалық қимасын таңдау – оның ені мен қабырғасының өлшемдерін, берілген технология жағдайларды ескере, тиімділігі, беріктігі, орнықтылығы және даярлау технологиясын қамтамасыз ету шарттарына сәйкес анықтау болып табылады. Пісірілген құрама қимасы арқалық қимасын таңдауды мысалда қарастырамыз.

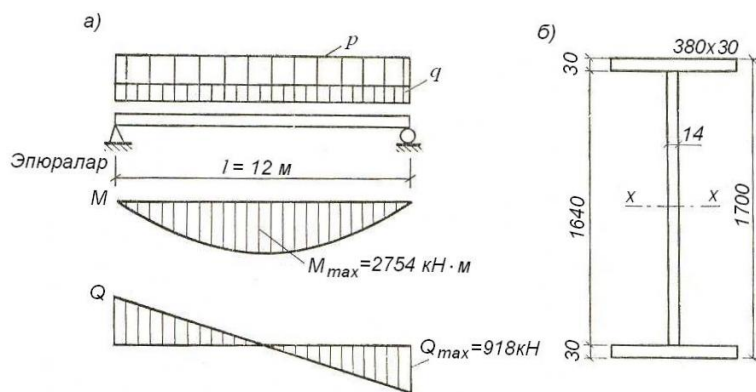
**2.3. мысал.** 2.2.мысалда келтірілген берілгендері бойынша I вариантты конструктивтік шешімдегі бас арқалық қимасын таңдау керек.

**Берілгендері:**  $\left[\frac{1}{f}\right] = 400$ ; болат маркасы ВСтТпс

$R_y = 280 \text{ МПа}$ ;  $R_s = 160 \text{ МПа}$ . Төсеме мен шебақ салмағы  $158 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ . Бас арқалықтың өз салмағын шамамен жүк салмағының 1 – 2% тең етіп қабалданады. Қабат жапқыштың құрылыс биіктігі 220см – ге тең. Арқалықтың есепті сұлбасы 74 - суретте келтірілген. Арқалыққа әсер ететін жүктің нормативті және есепті шамалары:

$$q^n = (q^n + p^n) \cdot k \cdot a = (1,583 + 34) \cdot 1,02 \cdot 6 = 217,77 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

$$q = (q^n \cdot n_q + p^n \cdot n_p) \cdot k \cdot a = (1,583 \cdot 1,05 + 34 \cdot 1,2 + 34) \cdot 1,02 \cdot 6 = 259,8 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$



Сурет 74. 2.3. мысалына  
а – есепті сұлба; б – арқалық қимасы

Арқалық ортасына әсер ететін иілу моментінің есепті мәні:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{259,851 \cdot 6^2}{8} = 8315,36 \text{ кН/м}$$

Тіреудегі көлденең қиюшы күш:

$$Q = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{259,8 \cdot 6}{2} = 2078,8 \text{ кН/м}$$

Созылымдылық коэффициентінің мәнін 1,12 тең етіп қабылдаймыз.  
( $c_1 = c = 1,12$ ).

$$W_{кер} = \frac{W_{max} \cdot \gamma_u}{c \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{8315,36 \cdot 10^2 \cdot 0,95}{1,12 \cdot 28 \cdot 1} = 25190 \text{ см}^2$$

Арқалықтың ұтымды биіктігін (122) формула бойынша қабырға қалыңдығын эмперикалық (130) формуламен тауып анықтаймыз.

$$t_{\omega} = 7 + \frac{3h_a}{1000} = 7 + \frac{3 \cdot 1600}{1000} = 11,8 \text{ мм}$$

бұл жерде  $h_a = \frac{1}{10} 16000 = 1600 \text{ мм}$ ; қабылдағанмыз  $t_{\omega} = 14 \text{ мм}$ .

$$h_{утым} = k \sqrt{\frac{W_{кер}}{t_{\omega}}} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{25190}{1,4}} = 154,24 \text{ см}$$

Арқалықтың ең кіші биіктігі (131а) формуламен табамыз:

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \frac{c_1 \cdot R_y \cdot l}{E} \left[ \frac{l}{f} \right] \frac{q^n + p^{-n}}{q^n \cdot n_q + p^n \cdot n_p} =$$

$$= \frac{5}{24} \cdot \frac{1,12 \cdot 28 \cdot 1600}{2,06 \cdot 10^4} \cdot 400 \frac{217,77}{259,85} = 170 \text{ см}$$

Арқалықтың құрылыс биіктігін қабат жапқыштың қалыңдығына оның конструкцияларына байланысты қабылдаймыз:

$$h_{\text{күр}}^{\text{арк}} = h_{\text{күр}}^{\text{к.ж.}} - h_{\text{и}} - t_m = 220 - 40 - 1,4 = 178,6 \text{ см}$$

Табылған арқалық биіктіктерін салыстыра келе арқалық биіктігін  $h_a = 170 \text{ см}$  – ге тең етіп қабылдаймыз:

Қабылдаған қабырға қалыңдығын (127) эмперикалық формуламен тексереміз:

$$t_{\omega} = \frac{3}{2} \frac{Q_{\max} \gamma_n}{h R_s} = \frac{3}{2}$$

Қабырғаның ығысуға жұмыс істеуі бойынша тіреудегі қалыңдығын (127) формуламен табылады:

$$t_{\omega} > \frac{3}{2} \frac{Q_{\max} \cdot \gamma_n}{h \cdot R_s} = \frac{3}{2} \frac{2078,81 \cdot 0,95}{170 \cdot 16} = 1,08 \text{ см} < 1,4 \text{ см}$$

Бойлық қатандық қырын жоймау үшін (129) формуламен анықтаймыз:

$$t_{\omega} = \frac{\left( h \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} \right)}{5,5} = \frac{\left( 170 \cdot \sqrt{\frac{28}{2,06 \cdot 10^4}} \right)}{5,5} = 1,13 \text{ см}$$

Қабылдаған қабырға қалыңдығы барлық қабырға қалыңдығына сәйкес екеніне көзіміз жетті.

Көлденең белдеу өлшемдерін арқалықтың көтеру мүмкіндігі арқылы анықтаймыз. Бұл үшін арқалық қимасының керекті инерция моментін табамыз.

$$J_{\text{кер}} = W \frac{h}{2} = 25190,3 \cdot \frac{170}{2} = 2141150 \text{ см}^4$$

Белдеу қалыңдығын 3см – ге тең етіп қабылдап арқалық қабырғасының инерция моментін анықтаймыз:

$$h_{\omega} = h - 2t_f = 170 - 2 \cdot 3 = 164 \text{ см}$$

$$J_{\omega} = \frac{t_{\omega} \cdot h_{\omega}^3}{12} = \frac{1,4 \cdot 164^3}{12} = 514610,13 \text{ см}^4$$

Белдеудің инерция моменті:

$$J_f = J_{\text{кер}} - J_{\omega} = 2144150 - 514610,13 = 1626539,9 \text{ см}^4$$

Арқалық белдеуінің бейтарап өске қарғанда инерция моменті:

$$J_f = 2A_f \cdot \left(\frac{h_0}{2}\right)^2$$

бұл жерде:  $A_f$  – белдеу қимасының ауданы.

Белдеудің өз ауырлық орталығына қарағанда инерция моментінің аз шама болғандығынан ескермейміз.

Осы жерден арқалық белдеу қимасының керекті ауданын табамыз.

$$A_f = \frac{2J_f}{h_0^2} = \frac{2 \cdot 1626539,9}{167^2} = 116,64 \text{ см}^2$$

бұл жерде:  $h_0 = h - t_f = 170 - 3 = 167 \text{ см}$

Әмбебап болат белдеу үшін  $30 \times 380 \text{ мм}$  – қаңылтыр қабылдаймыз.

$$\frac{b_f}{h} = \frac{380}{1700} = \frac{1}{4,41} \text{ бұл ұсынылған шамалар шегінде жатыр.}$$

Алдын ала қабылдаған созылымдылық коэффициентін анықтаймыз:

$$A_f = t_f \cdot b_f = 114 \text{ см}^2$$

$$A_{\omega} = t_{\omega} \cdot h_{\omega} = 229,6 \text{ см}^2$$

$$\frac{A_f}{A_{\omega}} = \frac{114}{229,6} = 0,49$$

ҚРҚНЖЕ 5.04.23 –2002 бойынша  $c = 1,12$  ;

Белдеудің жергілікті орнықтылығы:

$$\frac{b_{\omega}}{t_f} = \frac{38 - 1,4}{2 \cdot 3} = 6,1 < 0,11 \frac{h_0}{t_{\omega}} = 0,11 \frac{167}{1,4} = 13,11$$

$$6,1 < 0,5 \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 0,5 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{28}} = 13,5$$

Белдеудің жергілікті орнықтылығы қамтамасыз етілген.

(128) формула бойынша қабырғаның жергілікті орнықтылығын қамтамасыз ету шарты бойынша арқалықта созылымдылық деформацияның дамуын ескере ең үлкен иілу моменті әсер ететін және  $\tau = 0$ ;  $Q = 0$  қимадағы арқалықтың көтеру мүмкіндігін анықтаймыз:

$$\bar{\lambda}_\omega = \frac{164}{1,4} \sqrt{\frac{28}{2,06 \cdot 10^4}} = 4,32$$

$$M_{\max} = 831536 < R_y \cdot \gamma_c \cdot h_0^2 \cdot t_\omega \cdot \left( \frac{A_f}{A_\omega} + \alpha \right) =$$

$$= 28 \cdot 167^2 \cdot 1,4(0,49 + 0,202) = 920515,48 \text{ kH} \cdot \text{cm}$$

бұл жерде:

$$\alpha = 0,24 - 0,15 \cdot \left( \frac{\tau}{R_s} \right)^2 - 8,5 \cdot 10^{-3} (\bar{\lambda}_\omega - 2,2)^2 = 0,202$$

Қабылдаған қиманың беріктігін тексереміз. Инерция моменті мен қарсыласу моменті:

$$J_x = J_\omega + J_f = \frac{t_\omega \cdot h_\omega^3}{12} + 2b_f \cdot t_f \left( \frac{h_\omega}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2 =$$

$$= 514610,13 + 2 \cdot 38 \cdot 3 \left( \frac{167}{2} \right)^2 = 2104283,1 \text{ cm}^4$$

$$W_x = \frac{J_x}{h/2} = \frac{2104283,1 \cdot 2}{170} = 24756,27 \text{ cm}^3$$

Арқалықтағы ең үлкен кернеу:

$$\sigma = \frac{M_{\max} \cdot \gamma_c}{c_1 \cdot W} = \frac{8315,3 \cdot 10^2 \cdot 0,95}{1,12 \cdot 24756,27} = 27,49 \text{ kH/cm}^2$$

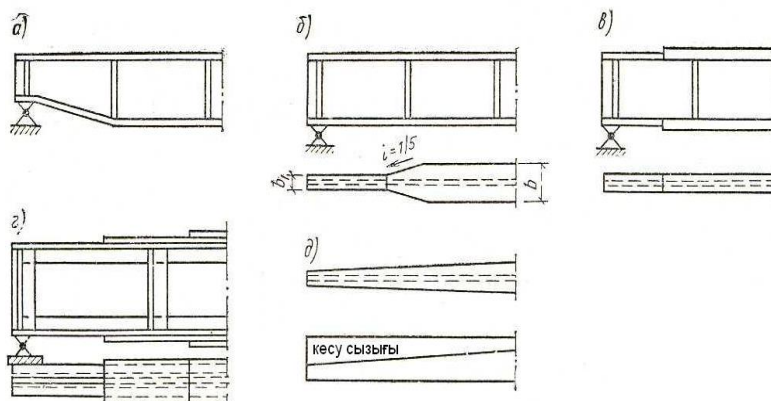
Кернеулілігі  $\pm 1,72\% < 5\%$ . Арқалық беріктігі жеткілікті. Арқалықтың қатандығын тексермесе де болады, өйткені оның биіктігін ең кіші биіктігіне тең етіп қабылдадық.

### 2.3.6. Арқалық қимасын ұзындығы бойынша өзгерту

Ең үлкен иілу моменті бойынша таңдалынған құрама қималы арқалық қимасын иілу моменті азайған жерде кішірейтуге болады. қиманы өзгерту материалды үнемдеуге мүмкіндік береді, бірақ даярланғандағы еңбек шығынын арттырады, сол себепті арқалық аралығы 10 – 12 м-ден артқанда ғана тиімді.



Арқалық қимасын оның биіктігін, немесе белдеу қимасын кішірейту арқылы өзгертуге болады (75 сур.). Қабырға биіктігін кішірейте арқалық қимасын өзгерту өте күрделі және жанама кернеуді қабылдау үшін оның қабырғасын қалыңдату керек, сол себепті ол сирек қолданылады.



Сурет 75. Ұзындығы бойынша арқалық қимасын өзгерту  
 а – арқалықтың биіктігін өзгерту арқылы; б – белдеу ендерін өзгерту арқылы; в – белдеу қалыңдықтарын өзгерту арқылы; г – көлденең листтардың санын өзгерту арқылы; д – белдеу енін үздіксіз өзгерту арқылы

Арқалық қимасын белдеу енін немесе қалыңдығын азайту арқылы өзгертуге болады.

Пісірілген арқалықтарды белдеу енін немесе қалыңдығын азайту көбірек қолданылады, бұл шешімде – арқалық биіктігі тұрақты. Белдеу қалыңдығын азайту аса ыңғайлы емес, өйткені төсеме қойылатын арқалық белдеуі тегіс болмай қалады.

Кесілмеген пісірілген аралығы 30 м-ге дейінгі арқалықтарда, өс симметриясына дейін белдеу қалыңдығын бір-ақ рет өзгерту қолданылады, екі рет өзгерту материалды 3 – 4% -ке үнемдеуге мүмкіндік береді, бірақ аса тиімді емес. Қиманың ұзына бойына белдеу енін өзгерту болатын көп үнемдеуге мүмкіндік береді, ол әмбебап болат қаңылтырды диагональ арқылы оттегімен кесу арқылы даярланады. Арқалықты даярлау шығыны көп болғандықтан, бұл шешім де сирек қолданылады.

Бір қалыпты жайылған жүк әсер ететін пісірілген арқалықтың белдеу қимасын өзгертетін болат шығыны бойынша, ең тиімді қима тіреуден  $\left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{6}\right)$  бөлігінде жатады.

Бұл қимада әсер ететін иілу моменті мәнін момент эпюрасы бойынша графикалық жолмен немесе келесі формуламен табуға болады:

$$M_{1(x)} = \frac{qx(l-x)}{2} \quad (132)$$

Қимасы өзгерілетін арқалықтарда созылымдылық деформацияның дамуын  $M$  және  $Q$  мәндерінің ең тиімсіз әсер ететін бір қимада ескеруге болады, ал басқа қималарда созылымдылық деформацияның дамуын ескеріп есептеу рұқсат етілмейді.  $M_{1(x)}$  моменті бойынша материалдың серпімді сатыдағы жұмысы кезіндегі қиманың қарсыласу моментін тауып белдеудің жаңа қимасын таңдау керек.

Белдеу ені, бұл кезде келесі шарттарға сәйкес болуы тиіс:

$$b_{f1} \geq h/10; \quad b_{f1} \geq 180 \text{ мм}; \quad l_{f1} \geq b/2 \quad (133)$$

тағы басқа да жолы бар. Алдымен белдеу енін кішірейтіп тіреу аймағындағы арқалықтың өзгертілген қимасын табу керек, содан кейін ол қиманың көтере алатын иілу моментін табу қажет:

$$J_1 = J_\omega + 2b_1 \cdot t_f \cdot \left( \frac{h_\omega}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2$$

$$W_1 = \frac{2J_1}{h}; \quad M_1 = W_1 \cdot R_y \cdot \gamma_c$$

$M(x) = M_1$  – теңдігі орындалатын белдеу қимасы өзгерілетін жерді тіреуге дейінгі қашықтықты табу керек.

Екі белдеудің түйістірілген жігі тік немесе көлбеу болуы мүмкін.

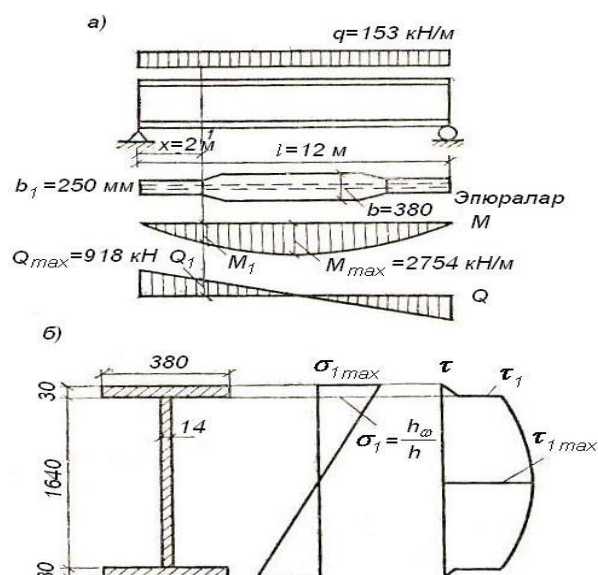
**2.4. мысал.** 2.3. мысалдағы пісірілген арқалық қимасын ұзына бойына өзгерту керек. Қима өзгертін жерді аралықтың  $1/6$  бөлігіне тең етіп қабылдаймыз (76 сур.). Қиманы белдеу енін кішірейту арқылы өзгертеміз.

Әр қималы белдеулерді түйістіре Э42 электродты пайдалана пісіріп біріктіреміз. Жік сапасы физикалық әдіспен тексерілмейді. Созылатын белдеу үшін  $R_\omega = 0,85R_y$ . қиманы әсер ететін иілу моменті мен көлденең қиюшы күш мәндерін табамыз:

$$x = \frac{l}{6} = \frac{16}{6} = 2,67 \text{ м}$$

$$M_1 = \frac{[q \cdot x(l-x)]}{2} = \frac{[259,85 \cdot 2,67(16-2,67)]}{2} = 4624,17 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$Q_1 = q \cdot \left( \frac{l}{2} - x \right) = 259,85 \cdot (8 - 2,67) = 1385 \text{ кН}$$



Сурет 76. 2.4. және 2.5. мысалдарына. а – қиманың өзгеру орны; б – келтірілген кернеулерді тексеру

Қиманы таңдауды материалдың серпімді сатысындағы жұмысын ескере 2.3 мысал тәрізді жүргіземіз.

Өзгерілген қиманың керекті қарсыласу моменті мен инерция моменттерін түйістіре пісірілген жіктің созылғандағы беріктігін қамтамасыз ету шартынан анықтаймыз:

$$W_{1kep} = \frac{M_1 \cdot \gamma_n}{R_{\omega y}} = \frac{4624,17 \cdot 10^3 \cdot 0,95}{23,0} = 18457,8 \text{ см}^3$$

$$J_{1kep} = W_{1kep} \cdot \frac{h}{2} = 18457,8 \cdot \frac{170}{2} = 1568913 \text{ см}^4$$

Белдеулер үшін керекті инерция моментін анықтаймыз:

$$J_{f1} = J_1 - J_{\omega} = 1568913 - 514610,0 = 1054303 \text{ см}^4$$

Белдеудің керекті ауданы:

$$A_{f1} = \frac{2J_{f1}}{h_0} = \frac{2 \cdot 1054303}{167^2} = 75,6 \text{ см}^2$$

қабылдағанымыз  $30 \times 250 \text{ мм}$ . Қабылдаған белдеу ені келесі ұсыныстарға сәйкес  $b_{f1} > 18 \text{ см}$  және  $b_{f1} > \frac{h}{10} = 17 \text{ см}$ . Өзгертілген қиманың инерция моменті мен қарсыласу моменттерін анықтаймыз:

$$J_1 = J_{\omega} + 2b_{f1} \left( \frac{h_0}{2} \right)^2 = 514610 + 235 \cdot 3 \left( \frac{167}{2} \right)^2 = 1560447,5 \text{ см}^4;$$

$$W_1 = \frac{2J_1}{h} = \frac{2 \cdot 1560447,5}{170} = 18358,2 \text{ см}^3;$$

$$\sigma = \frac{M_1 \cdot \gamma_n}{W_1} = \frac{4624,17 \cdot 10^2 \cdot 0,95}{18358,2} = 23,9 \text{ кН/см}^2.$$

Кернеулігі 4,04% < 5

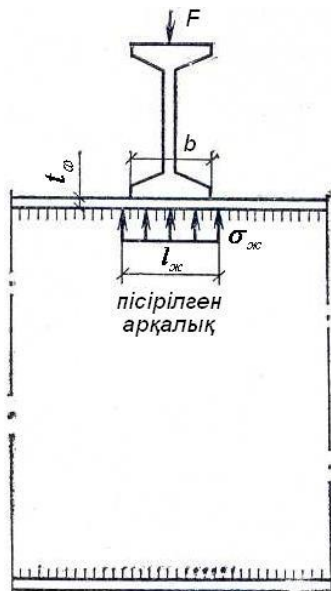
## 2.4 Құрама қималы арқалықтың беріктігі, орнықтылығы мен иілу мөлшері.

### 2.4.1 Арқалықтың беріктігі мен иілу мөлшері

Арқалықтың беріктігі ең үлкен тік, жанама кернеулерді және олардың бірге әсерін материалдың серпімді – созылымдылық сатыда жұмыс істеу кезеңінде, қабырғасының созылымдылық сатыда жұмыс істеу кезеңінде, қабырғасының созылымдылық деформация дамығандағы орнықтылығын (128) формуламен тексеру арқылы жүргізіледі.

Кесілген арқалықта ең үлкен тік кернеу мен жанама кернеулер әсер ететін қималар сәйкес келмейді, оларды (108), (110) және (113) формулалар бойынша тексереді.

Бірақ арқалықтың ұзына бойына ( $M$  немесе  $Q$  нөлге тең ерекше



Сурет 77. Арқалықтың қабаттарға тірелуі

қималардан басқа) иілу моменті мен кілденең қиюшы күштер бірге әсер етеді. Сол себепті,  $\sigma$  және  $\tau$  жеке – жеке тексеруден басқа олардың бірге әсер ететін қимада келтірілген кернеулер мәндерін тексеру де қажет. Бұл тексеруді иілу моментімен көлденең қиюшы күштердің ең тиімсіз үйлесімі әсер ететін қимада, кесілген арқалықтар үшін қимасы өзгеретін жерде, кесілмеген арқалықтар үшін тіреулерде жүргізу керек.

Келтірілген кернеу келесі формуламен анықталады.

$$\sigma_{кел} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq 1,15R_y \cdot \gamma_c, \quad (134)$$

бұл жерде:  $\sigma_1 = \frac{M_1}{W_1} \frac{h_0}{h}$ ;  $\tau = \frac{Q \cdot S_{f1}}{J_1 \cdot t_w}$ , белдеу жігі

деңгейіндегі есептік және жанама кернеулер.

(134) формула бойынша материалдың бұл нүктеде тік және жанама кернеулердің бірге әсерінен созылымдылық жағдайға өтуін тексереді.

Арқалық конструкцияларының жоғарғы белдеуінде тұрақты қадала әсер ететін жүк бар кезде, арқалық қабырғасын жергілікті мыжылуға қосымша тексеру керек:

$$\sigma_{жс} = \frac{F \cdot \gamma_n}{t_{\omega} \cdot l_{жс}} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad (135)$$

бұл жерде:  $\sigma_{жс}$  – жүк әсерінен қабырғаны мыжитын кернеу;  $F$  – қадала әсер ететін жүктің есепті мәні;  $l_{жс} = b + 2t_f$ ;  $t_{\omega}$  және  $t_f$  арқалықтың қабырға мен белдеу қалыңдықтары;  $b$  – жергілікті күшті арқалыққа беретін бөлімнің ұзындығы. Бұл кезде қадала жүк әсер ететін арқалықтағы келтірілген кернеу келесі формуламен тексеріледі.

$$\sigma_{кел} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_{жс}^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_{жс} + \tau_1^2} \leq 1,15 R_y \cdot \gamma_c \quad (136)$$

Егер бұл шарт орындалмаса, онда арқалық қабырғасы қатаңдық қырымен күшейтіледі. Бұл қатаңдық қыры өзінің тегістелген кесік шетімен қадалған жүкті қабылдап пісірілген жіктері арқылы арқалық қабырғасына биіктігі бойынша баяу жая береді. Егер жүк қадалған жерде арқалықтың қатаңдық қыры болса, онда жергілікті кернеу әсері ескерілмейді.

Арқалықтың иілу мөлшері жүктің нормативті мәні әсерінен құрылыс механикасындағы әдістерді пайдалана табылады, ал ол ҚРҚНЖЕ 5.04.23-2002 келтірілген шекті шамадан аспауы қажет.

Алдағы бөлімде айтылғандай, егер құрама қималы арқалық биіктігі (124) немесе (125) формула бойынша табылған биіктіктен кем қабылданбаса, онда иілу мөлшерін тексермесе де болады.

#### 2.4.2. Арқалықтың жалпы орнықтылығын тексеру және қамтамасыз ету

Арқалықтың жалпы орнықтылығын (115) формуламен тексеріледі.

$\frac{M}{\varphi_0 W_c} \leq R_y \gamma_c$ , бұл жерде:  $\varphi_0$  - (116) формуламен есептелініп табылады

$\varphi_0 = \psi \cdot \frac{J_y}{J_x} \cdot \left(\frac{h}{l_0}\right)^2 \frac{E}{R}$ ;  $\psi$  - коэффициенті арқалықтың бұралуға қарсылығына байланысты анықталады.

$\alpha$  – құрама арқалықтар үшін келесі формуламен табылады:

$$\alpha = 8 \left( \frac{l_0 \cdot t_f}{h_0 \cdot b_f} \right)^2 \cdot \left( 1 + \frac{a \cdot t_{\omega}^3}{b_f \cdot t_f^3} \right) \quad (137)$$

бұл жерде:  $l_0$  – арқалықтың сығылатын белдеуінің көлденең жылжуға қарсы бекітілген есепті ұзындығы;  $a = 0,5h_0$ ;  $h_0$  – белдеу өстерінің арақашықтығы;  $b_f$  және  $t_f$  – сығылатын белдеудің ені мен қалыңдығы;  $t_\omega$  – арқалық қабырғасының қалыңдығы.

**2.5. мысал.** 2.3 пен 2.4 мысалдардағы келтірілген пісірілген арқалықтың жалпы орнықтылығын және иілу мөлшерін тексеру керек.

### 1. Арқалықтың беріктігін тексеру

Белдеудегі тік кернеудің ең үлкен мәні арқалық ортасында 2.4 мысалда тексерілді ( $\sigma = 28,49 \text{ kH}/\text{cm}^2$ ; кернеулігі  $+1,72\% < 5$ ).

Арқалықтың тіреу қимасындағы беріктік жанама кернеу бойынша (110) формуламен тексеріледі.

$$\tau = \frac{Q_{\max} \cdot \gamma_n \cdot S_1}{J_1 \cdot t_\omega} = \frac{2078,81 \cdot 0,95 \cdot 10969,3}{1560447,5 \cdot 1,4} = 9,91 \text{ kH}/\text{cm}^2 < 16 \text{ kH}/\text{cm}^2$$

$S_1$  – арқалықтың жарты қимасының статикалық моменті:

$$S_1 = b_f \cdot t_f \frac{h_0}{2} + \frac{t_\omega \cdot h_\omega^2}{8} = 25 \cdot 3 \frac{167}{2} + \frac{1,4 \cdot 164^2}{8} = 10969,3 \text{ cm}^3$$

Шабак астында қабырғада пайда болатын жергілікті кернеуді (135) формуламен табамыз.

$$\sigma_{жс} = \frac{F}{t_\omega \cdot l_{жс}} = \frac{1235,85}{1,4 \cdot (11,5 + 2 \cdot 3)} = 5,13 \text{ kH}/\text{cm}^2 < 28 \text{ kH}/\text{cm}^2$$

бұл жерде:  $F = 2 \cdot 41,95 \frac{6}{2} = 125,85 \text{ kH}$  шабақтың тіреу күші (2.2 мысалды қара)  
 $l_{жс} = b + 2t_f = 11,5 + 2 \cdot 3 = 17,5 \text{ cm}$  – кадала әсер ететін жүктің аралық қабырғасына жайылу ұзындығы.

Арқалық қабырғасына әсер ететін жергілікті кернеу бар болғандықтан шабак астындағы белдеу жігінде тік, жанама және жергілікті кернеулер бірге әсер ететін арқалық қимасы өзгерген жердегі беріктігін (136) формуланы пайдаланып тексереміз. Қима өзгертін жердегі беріктігі:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{M_1}{W_1} \frac{h_\omega}{h} = \frac{4624,17 \cdot 10^2 \cdot 0,095 \cdot 164}{18358,2 \cdot 170} = 23,08 \frac{\text{kH}}{\text{cm}^2} \\ \tau &= \frac{Q_1 \cdot S_\sigma}{J_1 \cdot t_\omega} = \frac{1385 \cdot 6150}{1560447,5 \cdot 1,4} = 3,9 \frac{\text{kH}}{\text{cm}^2} \\ S_\sigma &= b_f \cdot t_f \frac{h_0}{2} = 25 \cdot 3 \cdot 82 = 6150 \text{ cm}^3 \\ \sigma_{кел} &= \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} = \sqrt{23,08^2 + 3 \cdot 3,9^2} = 24,04 \frac{\text{kH}}{\text{cm}^2} < 1,15 \cdot R_y \cdot \gamma_c \end{aligned}$$

Жергілікті кернеу әсер ететін қимада

$$(x = 2.м) M_2 = 3637,9 \text{ кН} \cdot \text{м}; Q_2 = 1559,1 \text{ кН}.$$

$$\sigma_1 = \frac{4624,17 \cdot 10^2 \cdot 0,095}{18358 \cdot 17} \cdot 164 = 18,16 \text{ кН} / \text{см}^2$$

Екі тексеру де арқалықтың жалпы орнықтылығының қамтамасыз етілетінін көрсетті.

## 2. Арқалықтың иілу мөлшерін тексеру

Қарастырып отырған мысалда арқалықтың иілу мөлшерін тексермесе де болады, өйткені арқалық биіктігі ең кіші биіктікке тең ( $h_a = h_{\min}$ ).

### 2.4.3 Арқалық элементтерінің жергілікті орнықтылығын тексеру және қамтамасыз ету

Сығатын тік немесе жанама кернеулер әсерінен конструкция элементтерінің жергілікті томпаюы олардың жергілікті орнықтылығын жоғалтуы – деп аталады.

Арқалықтардың сығылған белдеуі тік кернеудің әсерінен, қабырғасы тік, жанама кернеулердің жеке-жеке және бірге әсерінен жергілікті орнықтылықтарын жоғалтулары мүмкін.

Арқалық элементтерінің біреуінің жергілікті орнықтылығын жоғалтулары олардың толық немесе бір бөлігінің жұмыстан шығуына әкеп соғады. Бұл құбылыс – арқалық қимасының есепті сипаттамаларын кішірейтіп, симметрияларын жоғалтпауына, сөйтіп иілу орталығының өзгеруіне, сөйтіп арқалықтың жүк көтеру мүмкіндігін жоғалтуына әсер етеді. Ең қауіпті кернеудің әсерінен белдеу жолағының орнықтылығын жоғалтуы кезінде:

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{a \cdot t} = \frac{c \cdot \pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^2 = k \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^2 \quad (138)$$

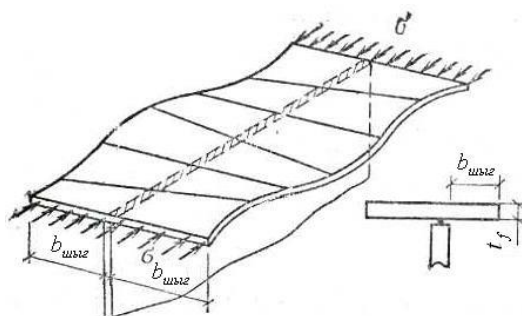
бұл жерде:  $N_{cr}$  – ең қауіпті күш;  $c$  – қима бойына кернеудің таралуына, белдеудің бекітілу түріне байланысты функция;  $E$  – серпімділік модулі;  $\nu$  – Пуассон коэффициенті.

Егер арқалық элементтеріне әсер ететін кернеулердің жеке мәндері, немесе бірге әсері ең қауіпті шамаларынан артқанда, онда олар өздерінің орнықтылықтарын жоғалтады.

(138) формуламен табылған кернеу шамасынан, белдеудегі тік кернеудің аз болғаны дұрыс, сонда оның жергілікті орнықтылығы қамтамасыз етіледі.

Арқалық белдеуі мен қабырғасының жергілікті орнықтылықтарын жеке – жеке қарастырамыз.

Сығылған белдеу арқалық қабырғасына ұзын жағымен топсалы бекітілген және қимасы бойынша тік кернеумен жүктелген ұзын қаңылтыр тәріздес. Бұндай элементтер шеттері томпаюы арқылы жергілікті орнықтылықтарын жоғалтады (78 сур.).



Сурет 78. Арқалық белдеуінің жергілікті орнықтылығын жоғалтуы

$\sigma_{cr} = R_y$  теңестіріп және түрлендірулер жүргізіп келесі формуланы аламыз:

$$\frac{b_{шығ}}{t_f} \leq 0,5 \sqrt{E/R_y}, \quad (139)$$

бұл жерде:  $b_{шығ}$  – шеті шеттелмеген белдеудің шығысы;  $t_f$  – белдеу қалыңдығы.

Белдеудің жергілікті орнықтылығын қамтамасыз ету үшін, белдеу шығысының қалыңдығына қатынасы (139) формуладағы шамадан артпауы керек.

Белдеуде дамидын созылымдылық деформацияны ескергенде, бірақ аспауы керек.

$$\frac{b_{шығ}}{t_f} \leq 0,11 \frac{h_0}{t_\omega}, \text{ бірақ } 0,5 \sqrt{E/R_y}, \text{ аспауы керек.} \quad (139 \text{ а})$$

Өте қалың қабырғалы арқалық үшін, егер  $\frac{h_0}{t_\omega} \leq 2,7 \sqrt{E/R_y}$ , онда белдеудің шығысы келесі шамадан аспауы керек:

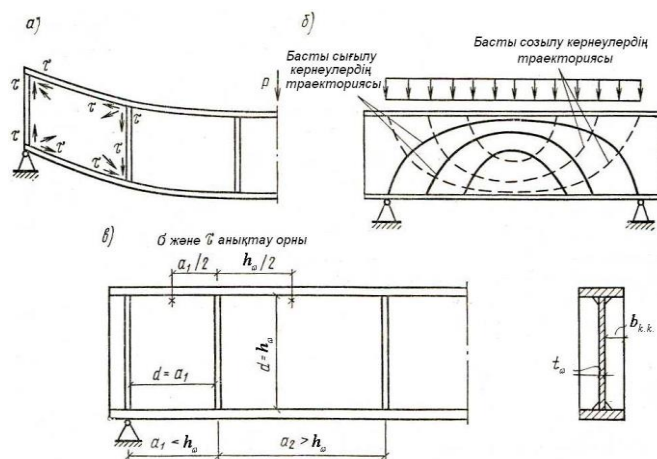
$$\frac{h_0}{t_f} \leq 0,3 \sqrt{E/R_y} \quad (139 \text{ б})$$

Аз кернеуленген арқалықтың  $\frac{b_{шығ}}{t_f}$  шекті шамасын  $\sqrt{R_y/\sigma}$  көбейтуге болады, бірақ ол ұқ аспауға тиіс.



## Қабырғаның орнықтылығы

Тік, жанама кернеулердің жеке-жеке немесе біріге әсер етуінен қабырға жергілікті орнықтылығын жоғалтуы мүмкін, жергілікті орнықтылықтарын қамтамасыз ету үшін қабырғада пайда болатын толқында кесе қатандық қырлары қойылады (79, а, б сур).



Сурет 79. Тік және жанама кернеулердің әсерлерінен арқалық қабырғасының жергілікті орнықтылығын жоғалтуы  $a$  – жанама кернеулердің әсері;  $b$  – басты кернеулердің әсер ету траекториясы;  $в$  – қабырғаның орнықтылығын тексеру үшін кернеулерді анықтау орындары

$\bar{\lambda}_\omega = \frac{h_\omega}{t_\omega} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 3,2$  сондықтан, қабырғасы қатандық қырымен бекітілмеген арқалықтар үшін ең қауіпті жанама кернеу:

$$\tau_{cr} = \frac{10,3R_s}{\bar{\lambda}_\omega^2} \quad (140)$$

$\tau_{cr} = R_s$  теңдігінен қабырғаның келтірілген шекті иілгіштігін табамыз. ҚРҚНЖЕ 5.04.23-2002 сәйкес көлденең қатандық қырларын келесі жағдайларда қою керек: арқалық белдеуіне жергілікті жүк әсер етпегенде  $\bar{\lambda}_\omega > 3,2$ ; арқалық белдеуіне жергілікті жүк әсер еткенде  $\bar{\lambda}_\omega > 2,2$ . Қатандық қырлар арасы  $\bar{\lambda}_\omega > 3,2$  болғанда  $2h_0$  аспауы және  $\bar{\lambda}_\omega \leq 3,2$  болғанда  $2,5h_0$  аспауы керек. Қатандық қыры көбінде арқалықтың бір бетінде қойылады. Ал оның ені  $b_{k,k} = \frac{h_0}{24} + 50$  кем болмауы керек. Қатандық қыры арқалық қабырғасына бүтін бір жақты ең аз қажетті жікпен пісіріп бекітілуі керек, оны белдеу жігіне 40 – 50мм дейін жеткізбей, жіктің арқалыққа термиялық әсерін әлсірету керек. Қатандық қырларының қалыңдығы  $t_{k,k} = 2b_{k,k} \sqrt{\frac{R_y}{E}}$  болуы керек.

Арқалық қабырғасы қатаңдық қырларымен қайтқанда жанама кернеудің ең қауіпті шамасы өседі, ол келесі формуламен анықталады:

$$\tau_{cr} = 10,3 \cdot \left( 1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{R_s}{\bar{\lambda}_\omega^2} \quad (141)$$

бұл жерде:  $\mu$  – қарастырылып отырған бөліктің үлкен жағының кіші жағына қатынасы;  $\bar{\lambda}_\omega$  – қабырға қалыңдығы:  $\bar{\lambda}_\omega = \frac{d}{t_\omega} \sqrt{\frac{R_y}{E}}$   $d$  – бөліктің кіші жағы;  $R_y$  – болаттың ығысуға қарсыласуы. Қатаңдық қырын  $a = 2h_0$  тең етіп қойғанда,  $\mu = 2$ , ал  $\tau_{cr} = 12,26 \frac{R_s}{\bar{\lambda}_\omega^2}$ .

Қабырғаның шекті иілгіштігі  $\bar{\lambda}_\omega > 3,5$ .

Осы айтылғанды ескерсек ҚРҚНЖЕ 5.04.23-2002 бойынша қатаңдық қырлары қойылған арқалық қабырғасының жергілікті орнықтылығын келесі жағдайларда тексермеуге болады:

-екі жақты пісіру жігі бар жергілікті жүгі жоқ арқалықтар үшін  $\bar{\lambda}_\omega \leq 3,5$ ; дәл осындай, бір пісіру жігі бар арқалықтар үшін  $\bar{\lambda}_\omega \leq 3,2$ ;

-екі жақты пісіру жігі бар жергілікті жүк әсер ететін арқалықтар үшін  $\bar{\lambda}_\omega \leq 2,5$ .

Симметрия қималы арқалық қабырғасының тік кернеу әсерінен орнықтылығын жоғалтуы.

Аралық ортасында жанама кернеу әсері әлсірейді, тік кернеу әсері күшейеді. Арқалық қабырғасы өзінің жергілікті орнықтылығын тік кернеу әсерінен жоғалтады.

Жергілікті толқын арқалық өсіне перпендикуляр, көлденең қатаңдық қырларына параллель бағытта пайда болады. Тік кернеудің ең қауіпті шамасы оның қимада таралуына байланысты, ол  $\alpha$  коэффициентімен сипатталады:  $\alpha = \frac{(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{\sigma_{\max}}$ .  $\alpha$  коэффициенті арқылы өрнектелген

сығатын кернеудің толықтығының әсері (138) формуладағы  $k$  коэффициентінің мәндері 17 кестеде келтірілген.

Кесте 17.

(138) формуладағы  $k$  коэффициентінің мәндері

| коэффицици | Белдеудеде серпімді бекітілген арқалық қабырғасының $\sigma$ эпюрасы |   |  |
|------------|--|---|--|
|            | $\alpha$   |  |                             |
| $k$        | 10   | 21  | $c_{kp}$ – пісірілген арқалықтар (кесте 17) 33,3 – тойтарма шеге арқылы және беріктігі жоғары болттар арқылы |

Қабырғаның белдеуде серпімді қысыла бекітілу дәрежесі келесі формуламен анықталады:

$$\delta = \beta \frac{b_f}{h_0} \cdot \left( \frac{t_f}{t_\omega} \right)^3 \quad (142)$$

бұл жерде:  $\beta$  – кран асты арқалықтан басқа арқалықтың сығылатын белдеуіне түгелдей қатаң төсеме қойылғанда  $\beta = \infty$ , басқа жағдайларда  $\beta = 0,8$ ;  $b_f$  және  $t_f$  арқалық белдеуінің ені мен қалыңдығы.

(138) формулаға параметрлері қойылғанда ең қауіпті тік кернеу келесі түрде өрнектеледі:

$$\sigma_{cr} = \beta \frac{c_{cr} \cdot R_y}{\bar{\lambda}_\omega^2} \quad (143)$$

бұл жерде:  $c_{cr}$  – ҚРҚНЖЕ 5.04.23-2002 келтірілген (143) формуладағы ең қауіпті кернеуді болттың есепті қарсыласуымен теңестіріп қабырғаның шекті келтірілген иілгіштігін  $\bar{\lambda}_\omega = 5,5$  табамыз. Егер  $\bar{\lambda}_\omega = 5,5$  тең болса, онда қабырға өзінің жергілікті орнықтылығын жоғалтуымен беріктігін бірге жоғалтады.

Сонымен  $\frac{h_0}{t_\omega} \geq 5,5 \sqrt{E/R_y}$  болған кезде ғана қабырға тік кернеу әсерінен орнықтылығын жоғалтуы мүмкін. Бұл секілді арқалықтар қабырғаларын

көлденең қатандық қырларынан басқа сығылатын аймаққа қосымша бойлық қатандық қырларын да қою керек.

### **Тік және жанама кернеулердің бірге әсер еткендегі арқалық қабырғасының орнықтылығын жоғалтуы**

Арқалықтарда көбіне тік және жанама кернеулер бірге әсер етеді, арқалық қабырғасы өзінің жергілікті орнықтылығын олардың бірге әсер етуінен жоғалтады.

Арқалық қабырғасының орнықтылығын тексерудің бірнеше жағдайларын қарастырамыз.

1. Симметрия қималы көлденең қатандық қыры қадала әсер ететін жүгі жоқ келтірілген иілгіштігі  $\bar{\lambda}_\omega \geq 3,2$  бір жақты пісірілген жігі бар және  $\bar{\lambda}_\omega \geq 3,5$  екі жақты пісірілген жігі бар арқалықтар үшін жүргізіледі.

$\sigma$  және  $\tau$  кернеулерінің шамалары жергілікті орнықтылықты қамтамасыз ету үшін ең қауіпті кернеу шамаларынан аспауы керек, яғни  $\sigma_m \leq \sigma_{cr}^t$  және  $\tau \leq \tau_{cr}^\sigma$ .

Осы жағдай негізінде қабырға орнықтылығын тексеру үшін келесі формула қолданылады:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq \gamma_c \quad (144)$$

бұл жерде:  $\sigma_{cr}, \tau_{cr}$  – тік және жанама кернеулердің ең қауіпті шамалары;  $\sigma$  және  $\tau$  – тік және жанама кернеулердің келесі формулалармен анықталатын шамалары:

$$\sigma = \frac{M}{W} \cdot \frac{h_0}{h}; \quad \tau = \frac{Q}{t_\omega \cdot h_\omega};$$

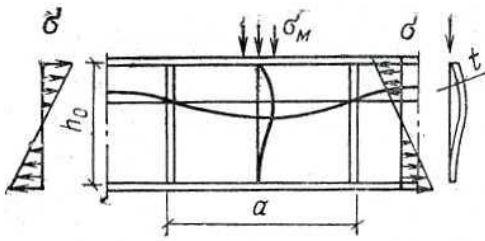
бұл жерде:  $M, Q$  қарастырылып отырған бөліктегі моментпен көлденең күштің ортақ мәндері; егер бөліктегі ұзындық оның есепті ұзындығынан артық болғанда,  $M$  және  $Q$  ұзындығы биіктігіне тең бөлімдегі көбірек кернеуленген жерде есептеп табылады (79, в суретті қара).

2. Симметрия қималы тік көлденең қатандық қыры қойылған жергілікті кернеуі бар  $\sigma_{жс} \neq 0$  арқалық қабырғасының орнықтылығы.

Бұл жағдайда арқалық қабырғасының орнықтылығы егер  $\bar{\lambda}_\omega > 2,5$  артық болғанда тексеріледі.

Тексеру келесі формуламен жүргізіледі.

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{жс}}{\sigma_{жс,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)} \leq \gamma_c \quad (145)$$



Сурет 80. Жергілікті қысымнан арқалық қабырғасының орнықтылығын жоғалтуы

бұл жерде:  $\sigma, \tau$  және  $\sigma_{cr}, \tau_{cr}, \gamma_c$  (144) формуладағыдай болады, ал жергілікті кернеу  $\sigma_{жс}$  (138) формула бойынша табылады. Жергілікті кернеудің әсерінен арқалық қабырғасының орнықтылығының жоғалтуы тік кернеудің әсеріндей (сур. 80). Оның ең қауіпті шамасы қатандықтар қырларының арақашықтықтарына байланысты, сол себепті ҚРҚНЖЕ 5.04.23-2002 тік және жергілікті кернеулердің ең қауіпті шамаларын анықтаудың үш түрлі

жағдайлары қарастырылған.

**2.6. мысал.** 2.4. мысалдағы пісірілген арқалықтың сығылған белдеуі мен қабырғасының жергілікті орнықтылығын тексеру керек.

1. Сығылған белдеудің орнықтылығы ең үлкен тік кернеу әсер ететін арқалықтың аралық ортасында, созылымдылық деформация дамидын жерде тексеріледі.

Тексеруді  $\frac{h_0}{t_\omega} \leq 2,7 \sqrt{\frac{E}{R_y}}$  бастаймыз.

$$\frac{h_0}{t_\omega} = \frac{164}{1,4} = 117,14 > 2,7 \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 2,7 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{28}} = 73,23;$$

$$\frac{b_{шығ}}{t_f} = 13,5$$

Жүргізілген тексеру белдеудің жергілікті орнықтылығы қамтамасыз етілетінін көрсетеді.

2. Қабырғаның орнықтылығын тексереміз.

Қабырғаның келтірілген иілгіштігі

$$\bar{\lambda}_\omega = \frac{h_\omega}{t_\omega} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{164}{1,4} \cdot \sqrt{\frac{28}{2,06 \cdot 10^4}} = 4,32 > 2,2 \text{ артық, сондықтан тік қатандық}$$

қырларын қою қажет. Созылымдылық деформацияның дамуын ескере есептелгендіктен арқалыққа қойылған әр шабақ астына қатандық қырын қою қажет, өйткені ол аймақта жергілікті кернеу пайда болмауы керек.

Арқалық қабырғасында созылымдылық деформация пайда болатын аймақтың ұзындығын келесі формуламен табамыз:

$$a = 1 \sqrt{1 - \frac{1}{C_1} \frac{h}{h_0}} = 1600 \sqrt{1 - \frac{1}{1,12} \frac{170}{164}} = 435,2 \text{ см.}$$



Сурет 81. 2.6. мысалға арналған есепті сұлба

1 – белдеу қимасының өзгертін жері; 2 – қабырғаның жергілікті орнықтылығын тексеру орны; 3 – белдеу жігін тексеру орны

Тік қатаңдық қырларын 81 суретте көрсетілгендей етіп қоямыз. Қабырға орнықтылығын тексерудің керектігін анықтаймыз.

$\lambda_0 = 4,32 > 2,5$  артық болғандықтан қабырға орнықтылығын тексеру қажет.

Арқалық қабырғасының  $a$  бөлігінің орнықтылығын тексереміз. (144) формулада келтірілгендей  $M$  және  $Q$  мәндерін 2 – 2 қима үшін анықтаймыз.  $x = 400 \text{ см}$ , бұл жерде шабақ әсер етеді және бөліктің қашықтығында жатуы керек деген ұсынысқа сәйкес:

$$M_2 = q \cdot \frac{x}{2} \cdot (l - x) = \frac{259,85}{2} \cdot 4 \cdot (16 - 4) = 6136,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$Q_2 = q \cdot \left( \frac{l}{2} - x \right) = 259,8 \cdot \left( \frac{16}{2} - 4 \right) = 1039,4 \text{ кН}$$

Әсер ететін кернеулердің мәнін табамыз:

$$\sigma = \frac{M_2}{W_x} \cdot \frac{h_0}{h} = \frac{6136,4 \cdot 164}{24756 \cdot 170} = 24,3 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

$$\tau = \frac{Q_2}{h_0 \cdot t_0} = \frac{1039,4}{164 \cdot 1,4} = 4,352 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

$$\sigma_{ж} = 5,13 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

(2.5. мысалды қара). Кернеулердің ең қауіпті мәндерін анықтаймыз (138) формула бойынша:

$$\tau_{cr} = 10,3 \left( 1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{R_s}{\bar{\lambda}_\omega^2} = 10,3 \left( 1 + \frac{0,76}{1,82^2} \right) \frac{16}{4,32^2} = 10,85 \frac{kH}{cm^2}$$

бұл жерде:

$$\mu = \frac{a}{h_0} = \frac{300}{164} = 1,82; \quad h_0 = h_\omega; \quad R_s = 16 \frac{kH}{cm^2}; \quad \frac{\sigma_{жс}}{\sigma} = 0,21;$$

$$\delta = \beta \cdot \frac{b_f}{h_0} \cdot \left( \frac{t_f}{t_\omega} \right)^3 = 0,8 \cdot \frac{38}{164} \cdot \left( \frac{3}{1,4} \right)^3 = 1,82, \quad \text{ал} \quad \frac{\sigma_{жс}}{\sigma} - \text{шекті мәні} \quad 0,634 > 0,21,$$

$$\text{сондықтан} \quad \sigma_{cr} = \frac{c_1 \cdot R_y}{\bar{\lambda}_\omega^2} = \frac{39,94 \cdot 28}{4,32^2} = 49,4 \frac{kH}{cm^2}$$

бұл жерде:  $c_1 = 32,94$ ;  $\delta = 1,82$  кезде 17 кесте бойынша алынған.

ҚРҚНЖЕ 5.04.23-2002 бойынша  $\sigma_{жс.cr}$ ,  $a$  орнына  $\frac{a}{2}$  қойып табамыз:

$$\sigma_{жс.cr} = \frac{c_1 \cdot R_y}{\bar{\lambda}_a^2} = \frac{17,89 \cdot 28}{3,94^2} = 32,26 \frac{kH}{cm^2}$$

бұл жерде:

$$\bar{\lambda}_a = \frac{a}{2 \cdot t_\omega} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{300}{2 \cdot 1,4} \cdot \sqrt{\frac{28}{2,06 \cdot 10^4}} = 3,94$$

$$\delta = 1,82, \quad \frac{a}{2 \cdot h_\omega} = \frac{300}{2 \cdot 164} = 0,91$$

кезде  $c_1 = 17,89$ .

Алынған мәндерді (145) формулаға қойып, арқалық қабырғасының жергілікті орнықтылығын тексереміз:

$$\sqrt{\left( \frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{жс}}{\sigma_{жс.cr}} \right)^2 + \left( \frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{24,3}{49,4} + \frac{5,13}{32,26} \right)^2 + \left( \frac{4,52}{10,82} \right)^2} = 0,85 < \gamma_c = 1$$

Тексеру қатаңдық қырларын  $a = 300 \text{ см}$  қадыммен қоюдың дұрыстығын көрсетті, өйткені қатаңдық қырлары арқалық қабырғасының жергілікті орнықтылығын қамтамасыз етеді.

## 2.5. Құрама қималы арқалықтың конструкцияларын жобалау

### 2.5.1. Арқалық белдеулерінің қабырғамен бірігуі

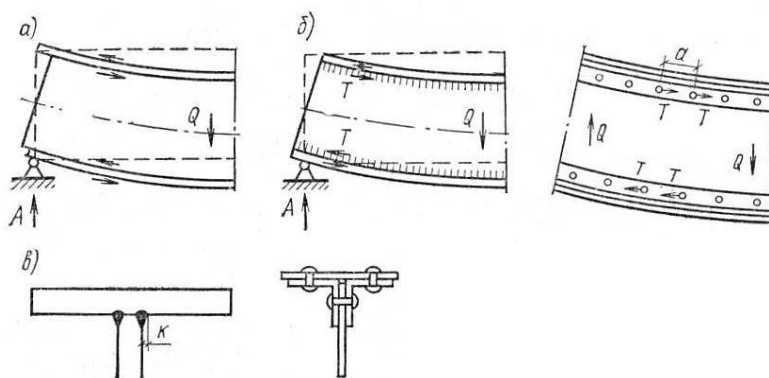
Құрама арқалық белдеулері қабырғамен пісірілген жіктермен, тойтарма шегелермен және болттармен біріктіріледі (82 сурет).

Арқалық иілген кезде, жеке – жеке жұмыс істейтін элементтерді біріктіру арқалық белдеулері мен қабырғасының өзара ығысуларына жол бермейді.

Пісірілген арқалықтардағы ығыстыратын арқалықтың 1см – не әсер ететін күшті жанама кернеу арқылы анықтайды:

$$T = \tau \cdot t_{\omega} = \frac{Q \cdot S_f}{J},$$

бұл жерде:  $Q$  – есепті көлденең қиюшы күш;  $S_f$  – арқалықтың бейтарап өсіне қарағандағы белдеудің статикалық моменті;  $J$  – арқалық қимасының инерция моменті.



Сурет 82. Белдеу жіктері, тойтарма шеге мен болттардың жұмыс істеуі

*a* – қабырғаға байланысты бекітілмеген белдеудің жылжып кетуі;

*б* - белдеу жіктері, тойтарма шеге мен болттардың жұмыс істеуі,

*в* – белдеу жіктері, тойтарма шеге немесе болттар

Ығыстыратын күш белдеу жігін қиюғы тырысады, сондықтан ол жіктердің қиылуға беріктігі  $T$  күшінен кем болмауы керек:

$$T \leq n \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot R_{\omega f} \cdot \gamma_{\omega f}$$

Осыдан керекті жік катетін табуға болады:

$$k_f \geq \frac{\left( \frac{Q \cdot S_f}{J} \right)}{n \cdot (\beta_f \cdot R_{\omega f})_{\min} \cdot \gamma_{\omega f}} \quad (146)$$

бұл жерде:  $Q$  – арқалықтың тіреу қимасына әсер ететін көлденең күш;  $n$  – белдеу жігінің саны;  $(\beta_f \cdot R_{\omega f})_{\min}$  – жік металының есепті қарсыласуының балқыту тереңдігін көрсететін коэффициенттің көбейтіндісімен негізгі



металдың балку шекарасының есепті қарсыласуының балқыту тереңдігі коэффициентіне көбейтінділерінің ең кіші шамалары.

Арқалықтар белдеулеріне жүк қадала әсер еткенде, қатаңдық қыры қойылмаған жерлерде, мысалға, қосымша арқалықтың бас арқалыққа қабатты тірелгенінде белдеу жіктері қосымша жергілікті қысымды қабылдайды, сондықтан белдеу жігінің катеті келесі формуламен табылады:

$$k_f = \left[ \frac{1}{n \cdot (\beta_f \cdot R_{of})_{\min} \cdot \gamma_{of}} \right] \cdot \sqrt{\left( \frac{Q \cdot S_f}{J} \right)^2 + \left( \frac{F}{l_{жс}} \right)^2} \quad (147)$$

Табылған белдеу жігінің катеті конструктивтік ең кіші мәнінен кіші болмауы керек.

**2.7. мысал.** 2.3. мысалдағы арқалық белдеуінің пісіру жігін есептеу керек.

Арқалықта созылымдылық деформацияның дамуы себепті жікті екі жақты етіп қабылдаймыз. Пісіру автоматпен Св-08 А маркалы сымды қолданып қайық тәрізді орналастырып жүргіземіз.

$$k_f = \left[ \frac{1}{n \cdot (\beta_f \cdot R_{of})_{\min} \cdot \gamma_{of}} \right] \cdot \sqrt{\left( \frac{Q \cdot S_f}{J} \right)^2 + \left( \frac{F}{l_{жс}} \right)^2} =$$

$$= \left[ \frac{1}{2 \cdot 19,8 \cdot 1} \right] \cdot \sqrt{\left( \frac{6262,5 \cdot 1818,95}{1560447,5} \right)^2 + (5,17)^2} = 0,23 \text{ см}$$

### 2.5.2. Арқалықтардың түйісулері

Конструктивтік шешімдер (83 сур.) келтірілген. Арқалықтың ең оңай және тиімді біріктіру түрі – түйістіре біріктіру.

Жіктегі ойылу моментінің мәні:  $M_{жік} = \frac{M_{\max} \cdot R_{oy}}{R_y} \approx 0,85 M_{\max}$  шамасынан

аспауы керек. Ең үлкен момент әсер ететін қимада жікті қолдану керек болғанда арқалықты тік түйістіре біріктіріп белдеулерді жапсарма қаңылтырлармен күшейтіледі (83, б сур.).

Бұндай жіктерде иілу моменттерін жапсарма қаңылтырлар мен түйістіре пісірілген жіктер қабылдайды. Моментті келесі формуламен табады:

$$M = W \cdot R_{oy} + N_n \cdot h_{жс}$$

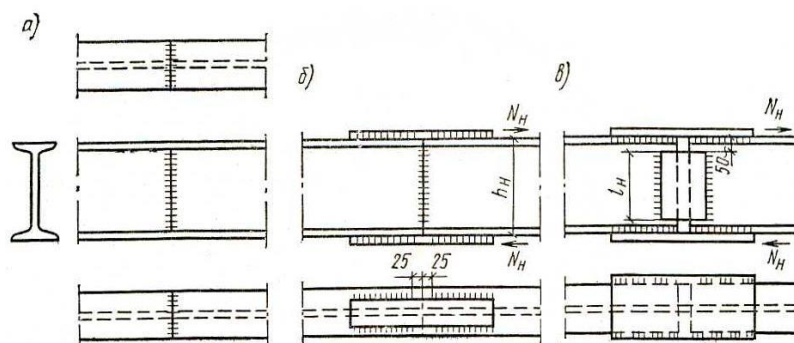
бұл жерде:  $W$  – арқалық қимасының қарсыласу моменті;  $N_n$  – жапсармадағы ішкі күш;  $h_{жс}$  – жапсарма өстерінің арақашықтығы.

Осы өрнектен жапсармаға әсер ететін ішкі күш шамасын аңқтаймыз:

$$N_n = \frac{(M - W \cdot R_{ay})}{h} \quad (148)$$

Содан жапсарма қимасының ауданын табамыз

$$A_{жс} = \frac{N_n}{R_y} \quad (149)$$

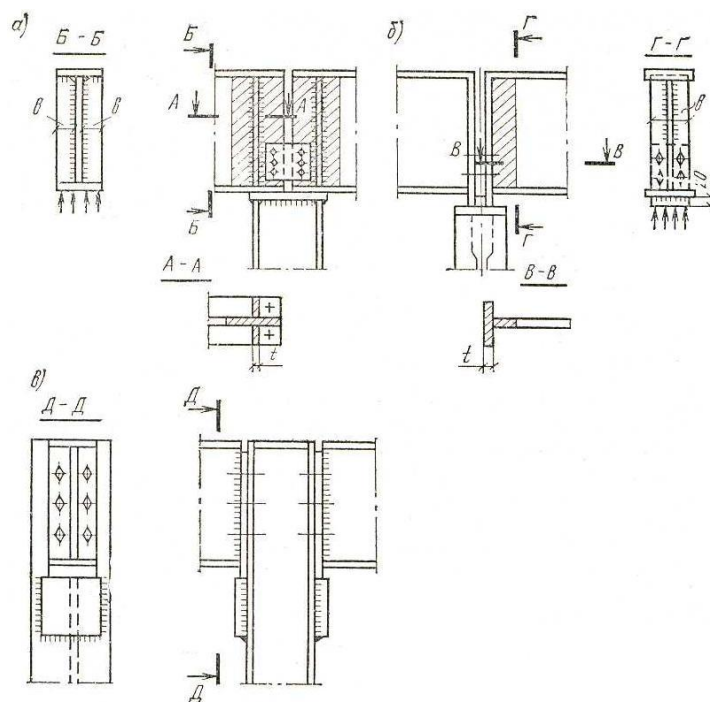


Сурет 83. Прокатталған арқалықтардың жіктері  
 а – түйістіре; б – түйістіріле бекітіліп жапсармалармен күшейтілген;  
 в – тек қана жапсармалармен

Жапсарманы арқалыққа бекітетін бұрыштық пісіру жігі жапсармадағы ішкі күшіне тең келуі керек. Пісіру қалдық кернеулер шамаларын азайту үшін жік өсіне дейін екі жақтан 25мм-ге жеткізбей тоқтатылады.

### 2.5.3. Арқалықтардың тірелулері және жалғасулары

Арқалықтар болат ұстындармен жалғасулары үстіне тірелу және жапсарлы тірелу арқалы жүзеге асады. Бұл сияқты біріктірулер тек тіреу күшін ғана беретін топсалы және тіреу күшінен басқа иілу моментін беретін қатаң болулары мүмкін. Арқалықтың ұстынға үстінен тіреу мысалдары 84 суретте келтірілген. Арқалықтың тірелетін жері тіреу қырымен күшейтіледі, бұл кезде таяныш күш түгелімен тіреуге осы қатандық қыры арқылы беріледі – деп есептеледі. Қатандық қырын таяныш күшті сенімді беруі үшін қабырғаға пісіру жігімен бекітіледі, ал жік шетін арқалықтың төменгі белдеуіне тығыз тірейді (84, а сур.) немесе болат ұстынның өзіне таяныш күшін беру үшін жонылады (84, б сур.).



Сурет 84. Арқалықтың ұстынға тірелуі  
 а, б – жоғарыдан, в - қырынан

Ұстынға таяныш дұрыс берілуі үшін (84, а сур.) конструктивтік шешімді тіреу қыры жазықтығының ортасын ұстын белдеулері өсімен сәйкестендіріп қабылдайды.

Тіреудегі қатаңдық қырының өлшемдері қырдың кесік шетін мыжылуға есептеу арқылы табылады:

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p} < R_p \quad (148)$$

бұл жерде:  $F$  – арқалықтың таяныш күші;  $A_p$  – тіреу қырының мыжылатын ауданы, пісірілген арқалықтарда қырдың жонылған ауданына тең етіп қабылданады;  $R_p$  – болаттың кесік шетінің мыжылуға есепті қарсыласуы. Қырдың шығысының ені оның жергілікті орнықтылығын қамтамасыз ету шарты бойынша  $b_{op} \leq 0,5 \sqrt{E/R_y}$ .

Тіреу қырының төменгі шығысы (84, б сур.)  $a \leq 1,5t_{op}$  және кемінде 15 – 20мм-ге тең етіп қабылданады.

Тіреу қырының кесік шетін мыжылуға есептелгеннен басқа арқалықтың тірелетін бөлігінің арқалық жазықтығынан тыс жазықтығындағы орнықтылығы тексеріледі. Тіреу бөлік ауданы тіреу қырының ауданы мен арқалық ақбырғасының бөлігінің аудандарының қосындысынан тұрады. Арқалық қабырғасының тіреу қырынан екі

жақтағы бөліктерінің аудандары да кіреді (84, *a* сур.). Шыбық ұзындығы арқалық қабырғасының биіктігіне тең:

$$\sigma = \frac{F}{\varphi \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c,$$

бұл жерде:  $\varphi$  – шыбықтың иілгіштігі ( $\lambda = \frac{h_\omega}{i_z}$ ) болғандағы  $z$  өсіндегі

бойлық иілу коэффициенті;  $z$  – өсі арқалықтың профильдегі өсімен сәйкес.

Тіреу қырын арқалық қабырғасына бекітетін пісіру бөлігі толық таяныш күшіне несептелуі керек. Арқалықтың ұстынға жанынан топсалы тірелуі (84, *b* сур.) өзінің конструктивтік орындалуы, жұмыс істеуі және есептелуі арқалықтың ұстын үстіне тірелуінен айырмашылығы жоқ (84, *b* сур.).

**2.9 мысал.** 2.3 мысалдағы пісірілген арқалықтың тіреу қырын есептеу керек. Таяныш күші  $F = 2078,84 \text{ кН}$ .

Тіреу конструкциясын 84 суретіндегідей қабылдаймыз. Қырдың кесік шетінің мыжылатын ауданын табамыз.

$$A_p = \frac{F}{R_p} = \frac{2078,84}{41} = 50,7 \text{ см}^2$$

бұл жерде:  $R_p$  – кесік шетінің мыжылуға есепті қарсыласуы.

$$R_p = R_{un} = 410 \text{ МПа} = 41 \text{ кН/см}^2$$

Қыр өлшемдерін  $18 \times 300 \text{ мм}$ ,  $A_p = 1,8 \times 30 = 54 \text{ см}^2 > 50,7 \text{ см}^2$  етіп қабылдаймыз.

Тіреу шыбығының жұмысына бірге қосылмайтын қабырға бөлімінің ұзындығын қиманың басқа да геометриялық сипаттамаларынан табамыз:

$$b_\omega = 0,65 t_\omega \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 0,65 \cdot 1,8 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{28}} = 31,3 \text{ см}$$

$$A_\omega = A_p + t_\omega \cdot b_\omega = 54 + 1,8 \cdot 31,3 = 110,34 \text{ см}^2$$

$$J_z = \frac{1,8 \cdot 30^3}{12} + \frac{31,3 \cdot 1,8^3}{12} = 4088 \text{ см}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{J_z}{A_\omega}} = \sqrt{\frac{4088}{110,34}} = 6,03 \text{ см}$$

$$\lambda = \frac{h_\omega}{i_z} = \frac{164}{6,03} = 27,2 \quad \varphi = 0,034$$

$$\sigma = \frac{F}{\varphi \cdot A_o} = \frac{2078,84}{0,934 \cdot 110,34} = 20,07 \frac{kH}{cm^2} < R_y = 28 \frac{kH}{cm^2}$$

Тіреу қырын арқалық қабырғасына Св-08 сымын пайдаланып жартылай автоматпен пісіріп біріктіруді есептейміз. Алдын ала пісіру кезінде жік металы негізгі металды бірге балқыған шекараның есепті қарсыласуларын анықтаймыз.

$$R_{of} = 18 \frac{kH}{cm^2}; \quad \beta_f = 0,9;$$

$$R_{oz} = 19,35 \frac{kH}{cm^2}; \quad \beta_z = 1,05$$

$$R_{of} \cdot \beta_f = 18 \cdot 0,9 = 17,2 \frac{kH}{cm^2} < R_{oz} \cdot \beta_z = 19,35 \cdot 1,05 = 20,3 \frac{kH}{cm^2};$$

$$k_f = \frac{1}{\beta_f} \sqrt{\frac{F}{2 \cdot 85 \cdot R_{of} \cdot \gamma_c}} = \frac{1}{0,9} \cdot \sqrt{\frac{2078,84}{2 \cdot 85 \cdot 18 \cdot 1}} = 0,91 \text{ см}$$

$k_f = 1 \text{ см}$  - ге тең етіп қабылдаймыз. Жіктің жұмыс істейтін бөлігінің ұзындығын тексереміз.

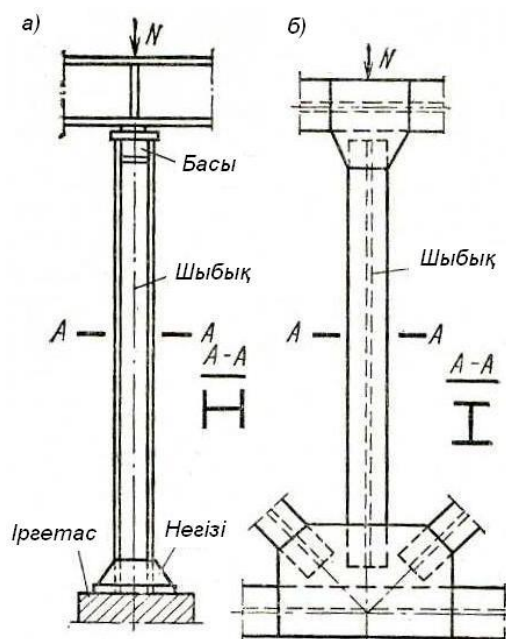
$$l_o = 85 \beta_f \cdot k_f = 85 \cdot 0,9 \cdot 1 = 76,5 \text{ см} < h_o = 164 \text{ см}$$

қырды қабырғаға бүткіл біріктіреміз.

### 3. ҰСТЫНДАР

#### 3.1. Жалпы сипаттамалары

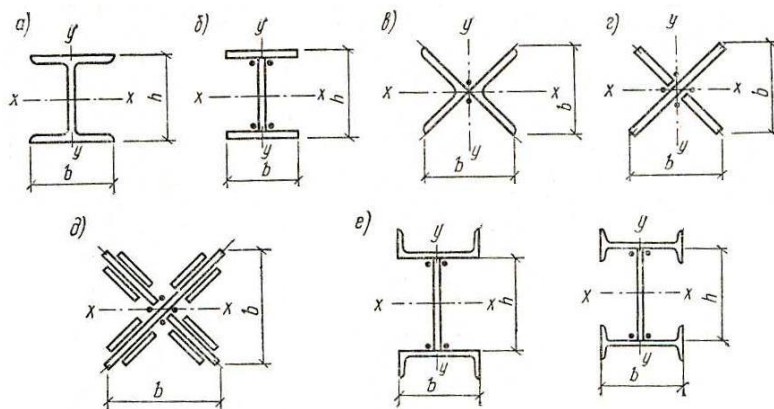
Метал конструкцияларында ұстындар кеңінен қолданылады. Жұмыс істеу түріне байланысты олар екіге бөлінеді: центрден сығылатын және центрден тыс сығылатын (85 сур.).



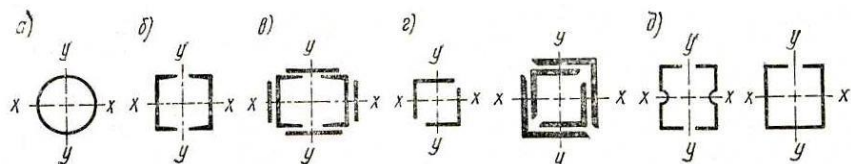
Сурет 85. Орталық сығылуға жұмыс істейтін шыбықтың схемасы. а - ұстын, б - ауыр ферманың сығылған шыбығы

Ұстындар жоғары жатқан конструкциялардан жүкті іргетасқа береді және үш бөліктен тұрады.

- басы, ұстынды жүктейтін жоғары жатқан конструкциялар тіреледі;
- шыбық – негізгі конструктивтік элемент, ол жүкті ұстынның басынан қабылдап негізіне береді;
- негізі, жүкті шыбықтан іргетасқа береді.



Сурет 86. Тұтас шыбықтың ашық қималары



Сурет 87. Тұтас шыбықтырдың тұйық қималары

Статикалық сұлбалары мен жүктеу сипаттамаларына байланысты ұстындар бір қабатты және көп қабатты болуы мүмкін. Көлденең қимасы бойынша тұтас және салалы болып кездеседі.

### 3.2. Тұтас ұстындар

Тұтас ұстындар көбіне қимасы прокатталған немесе автоматпен пісірілген құрама қимасы қоставрлар түрінде қабылданады. Тұтас ұстындардың қималары 86 және 87 суреттерде көрсетілген.

Ұстынның тең орнықтылығын қамтамасыз ету үшін оның екі бас өстер бойынша иілгіштіктері тең болуы керек:

$$\lambda_x = \lambda_y \text{ немесе } \frac{l_{0,x}}{r_x} = \frac{l_{0,y}}{r_y}$$

Қоставрлы қималарда, егерде есепті ұзындықтары бірдей болса  $l_{0,x} = l_{0,y}$ , онда бұл шарт орындалмайды, өйткені қиманың инерция радиустері әртүрлі. Қоставрлы қима үшін  $r_x \approx 0,43h$ ;  $r_y = 0,24b$ , осыдан тең орнықтылықты қамтамасыз ету үшін  $b \approx 2h$  болуы керек, бұл шарт конструктивтік ыңғайсыз шешім қабылдауға мәжбүр етеді, сол себепті ол іс жүзінде қолданылмайды.

Кәдеуілгі прокатты қоставр белдеуі өте аз болғандықтан тең орнықтылықты қамтамасыз етпейтіндіктен іс жүзінде қолданылмайды, ал пісіріліп біріктірілген құрама қоставрлар қолданылады.

Тең орнықтылықты крест тәрізді қималар қамтамасыз етеді.

Қарапайым, бірақ ауданы бойынша шектеулі және болат шығыны бойынша аса тиімді емес, ұстындар үш прокатталған профильдерден алынады.

Өте белгілі ұстындар – құбыр қималы, екі швеллер, бұрыштардан құралған қималар (а, б, в, г сурет 87).

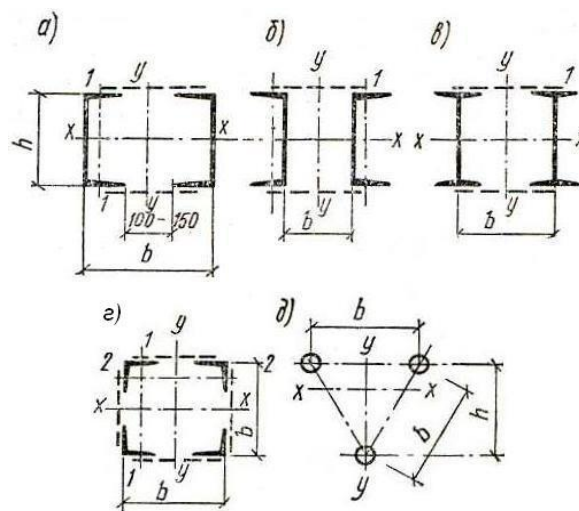
Жабық қималы ұстындардың артықшылықтары – тең орнықтылық, жинақтылық және сыртқы жақсы түрі; кемшілігі - коррозиядан қорғау үшін бұндай ұстындар шыбығына ылғал өткізілмеуі керек. Болат құбырларды бетонмен толтырғанда комплексті конструкция - (құбыр бетон) алынады, бұларда құбыр ішіндегі бетон көлденең деформациясын дамытпайтын қабықшы қызметін атқарады. Бұндай жағдайларда бетонның сығылуға беріктігі артады, құбырдың іші коррозиядан сақталады, жергілікті орнықтылығы қамтамасыз етіледі.

Жұқа қабырғалы құбырларды қолданған  $\left( \frac{t_w}{a} = \frac{1}{50} \dots \frac{1}{150} \right)$  жиілеп келеді.

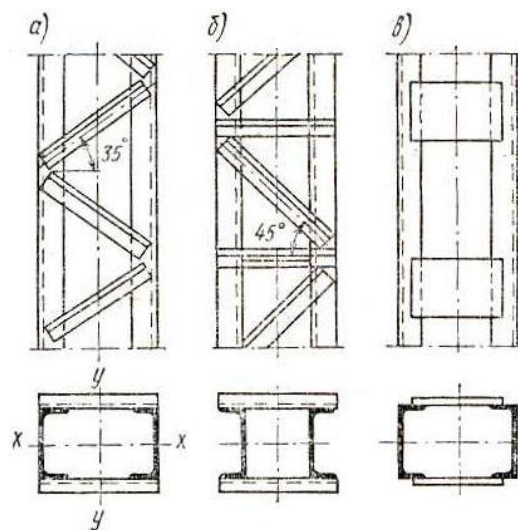
### 3.3. Салалы ұстындар

Салалы центрден сығылған ұстындар көбінде өзара тормен байланысқан екі бөліктен тұрады (88 а-в сур.), бөліктерді кесетін өс “материалды”, ал параллель өс “еркін” өстер-деп аталады. Екі бөлік арақашықтығы шыбықтың тең орнықтылығын қамтамасыз ету арқылы табылады.

Пісірілген ұстындарда швеллердің белдеулерін ішке қаратып қойған дұрыс, өйткені бұл кезде бөліктерін байланыстыратын торлар ұзындықтары кішірек болып ұстын өнімдері жақсырақ қолданылады (88 а сур.).

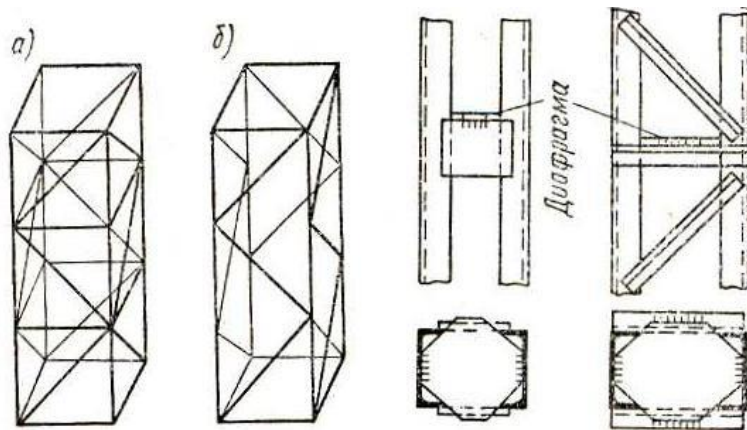


Сурет 88. Салалы шыбықтар қимасы

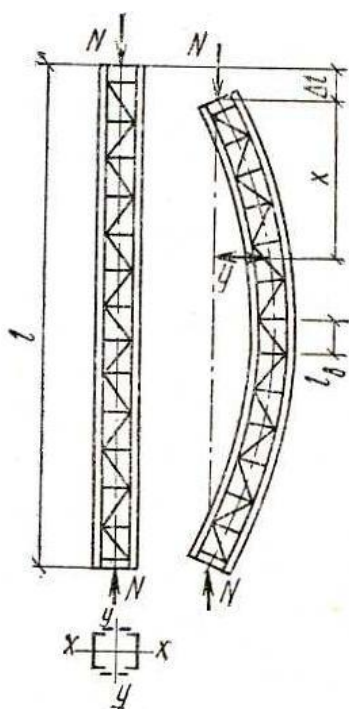


Сурет 89. Салалы шыбық торларының түрлері





Сурет 90. Төрт жазықтықта торлардың орналасуы



Сурет 91. Бойлық иілуде шыбықтың деформациялануы

Қуатты ұстындар да бұтақтары прокатталған немесе пісірілген қоставрлардан тұрады.

Салалы ұстындарда шыбық белдеулерінің араларын ішкі беттерін бояу үшін 100 – 150 мм-лік арақашықтарда қою керек.

Торлар ұстын шыбықтарының бұтақтарын біріктіріп бірге жұмыс істеуін қамтамасыз етеді және оның бұтақтарының орнықтылығына қатты әсер етеді. Торлардың әртүрлі жүйелері қолданылады: көлбеу тіреулер (89, а сур.), көлбеу тіреулер мен тартпалар (89, б сур.), және тақтайшалар (89, в сур.), торларда (89, г сур.), кәдуелгі сұлба (91 сур.) қолданылады.

Салалы ұстын қималарының сыртқы нұсқасын жоғалтпауы үшін ұстын бұтақтары көлденең ұстын

биіктігі бойынша 3 – 4 м арасында диафрагмалар қойылады.

### 3.4. Салалы ұстын шыбығының орнықтылығына тордың әсері

**Негізгі теңдеу.** Торлар бұтақтарды байланыстырып олардың бірге жұмыс істеуін және шыбықтың орнықтылығын қамтамасыз етеді. Торлардың деформациялануына байланысты салалы ұстынның шыбығының еркін өсі бойынша иілгіштігі (88, а, в сур.) тұтас ұстынның иілгіштігінен артық  $\lambda = l_0/r$  ( $l_0$  – ұстынның есепті ұзындығы) және тордың түріне байланысты.

Салалы ұстын орнықтылығын жоғалтқанда еркін өсі бойынша ең қауіпті күштің шамасын шыбықтың жалпы орнықтылығын жоғалту шартынан табуға болады:

$$\Delta W_i = \Delta W_e, \quad (149)$$

бұл жерде:  $W_i$  – орнықтылығын жоғалту кезіндегі шыбықтың иілуден пайда болатын ішкі энергиясының (91 сур.) өзгеруі.

Иілу энергиясының өзгеруінен:

$$\Delta W_{im} = \int_0^l \frac{M^2 dx}{2EJ_y} = \frac{N^2}{2EJ_y} \int_0^l y^2 dx, \quad (150)$$

бұл жерде ығысу энергиясының өзгеруінен тұрады.

$$\Delta W_{iQ} = \int_0^l \frac{Q\gamma}{2} dx, \quad (151)$$

Бұл жерде:  $N$  – ұстынға әсер ететін бойлық күш;  $Q$  – иілгендегі көлденең қиюшы күш;  $J_y$  – ұстынның қимасының еркін өсі бойынша инерция моменті;  $\gamma$  – ығысу бұрышы. Сыртқы күштің жұмысы оның әсерінен шыбық шеттерінің өсі иілгендегі жылжуына байланысты келесі формуламен анықталады:

$$\Delta W_e = N \cdot \Delta l = \int_0^l N(1 - \cos \alpha) dx = \int_0^l \frac{N \operatorname{tg}^2 \alpha}{2} dx = \frac{N}{2} \int_0^l \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 dx,$$

бұл жерде:  $\alpha$  – шыбық өсі мен серпімді сызықтың қарастырылып отырған нүктелеріндегі жанамасы арасындағы бұрыш.

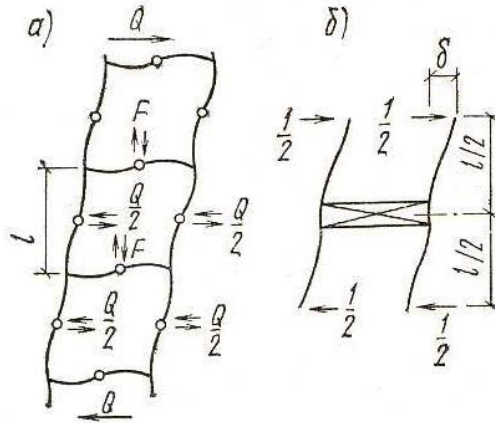
Осы жерден (149) орнықтылық шарты келесі теңдеулермен өрнектеледі:

$$\frac{N^2}{2EJ_y} \int_0^l y^2 dx + \frac{N^2 \gamma_1}{2} \int_0^l \left( \frac{dy}{dx} \right) dx = \frac{N}{2} \int_0^l \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 dx, \quad (153)$$

бұл жерде теңдеудің екінші бөлігінде түрлендірулерді орындаймыз:

$$M = N \cdot y; \quad Q = \frac{dM}{dx} = \frac{N dy}{dx}, \quad \gamma = \gamma_1 \cdot Q = \gamma_1 \frac{N dy}{dx},$$

бұл жерде:  $\gamma_1$   $Q=1$  кездегі ығысу бұрышы, берілген тор түрі үшін ол тұрақты шама.



Сурет 92. Бойлық майысу кезіндегі тақтайшалы шыбықтардың деформациясы

Иілген шыбық өсінің қисық түрін қабылдап  $y = C \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{l}$  және (153) интегралдан түрлендіріп ең қауіпті күш шамасын табамыз:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EJ_y}{l_0^2 \left( 1 + \frac{\gamma_1 \pi^2 EJ_y}{l_0^2} \right)} = \frac{\pi^2 EJ_y}{(\mu \cdot l_0)^2}, \quad (154)$$

Сонымен салалы ұстын шыбығының ұзындығына келтіретін коэффициент ығысу бұрышына байланысты, ал ол торлар жүйелерінің түрлеріне сәйкес анықталады.

$$\mu = \sqrt{1 + \gamma_1 \frac{\pi^2 EJ_y}{l_0^2}}, \quad (155)$$

### Тақтайшалы торлы ұстындар

Бұндай торлы ұстындар көп қабатты рамалы жүйе секілді, оның барлық элементтері ұстындар майысқанда  $S$  секілді қисықтармен иіледі (92 а сур.). Тақтайшалар арақашықтықтары және қуаттылықтары бірдей болғанда иілу моментінің нөлдік нүктелері тақтайшалардың орталарында және ұстын бұтақтарында тақтайшалар араларына орталарында орналасады. Нөлдік нүктелерде шыбықтың иілуінен пайда болатын көлденең күштер әсер етеді.

Тақтайшалар де-формацияларын ескермей (олардың қадымдық қатандықтарының бұтақ-тардың қадымдық қатандықтарына қатынас-тары  $\delta$  – артық) ығысу бұрышын (92, б сур.) анықтағанда:

$$\gamma_1 = \frac{\delta}{l_0/2} = \frac{1}{2} \left( \frac{l_0}{2} \right)^3 \frac{1}{3EJ_1} \cdot \frac{2}{l_0} = \frac{l_0^2}{24EJ_1}, \quad (156)$$

бұл жерде:  $\delta$  – бұтақтың аспалы бөлігінің майысу мөлшері;  $l_0$  – тақтайшалар арасының арақашықтығы; (156) формулаға 1 мағынасын қойып есепті ұзындыққа кеміткіретін коэффициентті табамыз:

$$\mu = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 J_y}{24J_1} \left( \frac{l_0}{l_0} \right)^2},$$

бұл жерде:  $J_1 = A_0 \cdot r_1^2$   $J_y = 2A_0 \cdot r_y^2$ ;  $\lambda_y = \frac{l_{oy}}{r_y}$ ;  $\lambda_1 = \frac{l_0}{r_1}$

$A_0, J_1$  және бұтақ ауданы мен ұстынның еркін өсіне параллель өске сәйкес инерция моменті;  $r_1$  – бір бұтақтың инерция радиусы;  $r_y$  – тақтайша жазықтығына параллель жазықтықтағы шыбық қимасының инерция радиусы (92, а сур.);  $\lambda_1, \lambda_y$  – бұтақтың және шыбықтың иілгіштіктері.

$$\mu = \sqrt{1 + \frac{2\pi^2}{24} \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_y} \right)^2} \approx \sqrt{1 + \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_y} \right)^2}, \quad (157)$$

Осыдан екі жазықтықтағы тақтайшалы шыбықтардың еркін өсті жазықта иілгіштігі келесі формуламен табылады:

$$\lambda_{кел} = \mu \lambda_y = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}, \quad (158)$$

Төрт жазықтықта да тақтайшалы шыбықтардың келтірілген иілгіштігі келесі формуламен анықталады:

$$\lambda_{кел} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2} \quad (159)$$

Үш бұрышты шыбықтың келтірілген иілгіштігі келесі формуламен анықталады:

$$\lambda_{кел} = \sqrt{\lambda_y^2 + 1,3\lambda_2^2}, \quad (160)$$

бұл жерде  $\lambda_y$  – шыбықтың ең үлкен иілгіштігі;  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – бұтақтардың өз өстері бойынша шыбық қимасының бас өстеріне параллель иілгіштіктері.

Үш бұрышты торлы ұстындардың қисаю бұрышы.

$$\gamma_1 = \frac{\Delta d}{l_g \sin \alpha},$$

бұл жерде,  $l_g$  – панель ұзындығы;  $\Delta d$  – көлбеу тіреудің  $Q = 1$  әсер еткенде ұзаруы.

Көлденең күш әсер ететін жазықтықта жататын көлбеу тіреудегі ішкі күш ( $Q = 1$  болғанда):

$$N_p = \frac{1}{2 \sin \alpha},$$

Көлбеу тіреудің ұзаруы:

$$\Delta d = \frac{N_p \cdot d}{E \cdot A_p} = \frac{l_g}{2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot E \cdot A_p},$$

бұл жерде:  $A$  – көлбеу тіреу қимасының ауданы.

Сонымен тордың қисаю бұрышы:

$$\gamma_1 = \frac{\Delta d}{l_g \cdot \sin \alpha} = \frac{1}{2 \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha \cdot E A_p}, \quad (161)$$

Есепті ұзындыққа келтіретін коэффициент

$$\mu = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 J_y}{2 l_0^2 \cdot A_p \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha}}, \quad (162)$$

$J_y = 2 A_g \cdot r_y^2 = A \cdot r_y^2$  – тең екенін ескеріп,

$$\mu = \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{2 \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{A}{A_p \cdot \lambda_y^2}} = \sqrt{1 + \alpha_1 \frac{A}{A_p \cdot \lambda_y^2}}, \quad (163)$$

Осы жерден екі жазықтықта да үшбұрышты торлы шыбықтардың келтірілген иілгіштігі (89, а сур.).

$$\lambda_{кел} = \mu \cdot \lambda_y = \sqrt{\lambda_y^2 + \alpha_1 \cdot \frac{A}{A_p}}, \quad (164)$$

Төрт жазықтықта да үш бұрышты торлы шыбықтардың келтірілген иілгіштігі (88 сур.).

$$\lambda_{кел} = \mu \cdot \lambda_y = \sqrt{\lambda_y^2 + A \left( \frac{\alpha_1}{A_{p_1}} + \frac{\alpha_2}{A_{p_2}} \right)}, \quad (165)$$

Үш бұрышты салалы ұстындар шыбықтарының иілгіштігі

$$\lambda_{кел} = \sqrt{\lambda_y^2 + \alpha_1 \frac{2A}{3A_p}}, \quad (166)$$

бұл жерде:  $A$  – шыбық қимасының толық ауданы;

$\lambda_y = \frac{l_0}{r_y}$  – шыбықтың еркін өсі бойындағы иілгіштігі;

$A_{p_1}, A_{p_2}$  – тордың көлбеу тіреулерінің аудандары.

$$\alpha = \frac{10l_p^3}{b^2 \cdot l_e},$$

Бойлық иілу кезіндегі көлденең күш пайда болады.

$$Q = \frac{dM}{dx} = N_{cr} \frac{dy}{dx} = \frac{\pi}{l} f_{cr} N_{cr} = \frac{\pi}{l} A \sigma_{cr}, \quad (167)$$

бұл жерде  $f_{cr}$  – шыбықтың орнықтылық жоғалту кезіндегі бойлық иілу мөлшері.

ҚР ҚНЖЕ 5.04-23-2002 құрама шыбықтарды біріктіретін элементтерді есептеу үшін көлденең күш шамасын келесі формуламен табады.

$$Q_{шарт} = 7,15 \cdot 10^{-6} \left( 2330 - \frac{E}{R_y} \right) \cdot \frac{N}{\varphi}, \quad (168)$$

бұл жерде:  $\varphi$  – құрама шыбықтардың торлы байланыстары бар жазықтықтағы бойлық иілу коэффициенті;  $\varphi_{\min}$  – бойлық иілу кезіндегі ең кіші коэффициент (байланыстары бар жазықтықта немесе оған перпендикуляр жазықтықта);  $\sigma = \frac{N}{A}$  – элемент сығылғандағы кернеу.

Кесте 18.

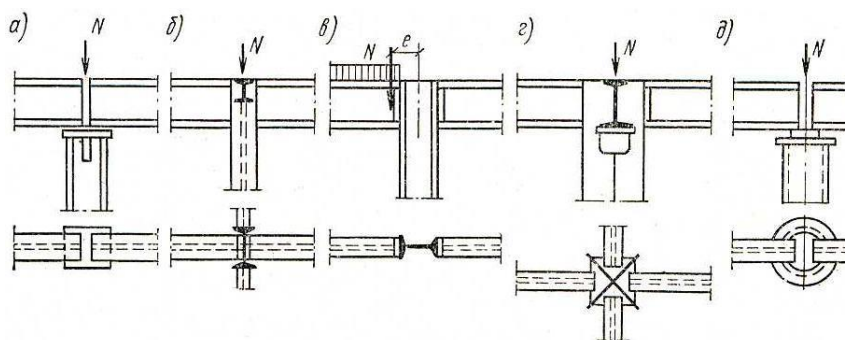
Шартты бойлық күш  $Q_{шарт}, кН$  мәндері

|                             |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Есепті қарсыласу $R_y, МПа$ | 210   | 260   | 290   | 380   | 440   | 530   |
| $Q_{шарт}$ $кН$             | 0,20А | 0,30А | 0,40А | 0,50А | 0,60А | 0,70А |

### 3.5. Ұстындардың қималарын таңдау

#### 3.5.1. Есепті сұлбаны таңдау

Бір қабатты ұстынның есепті сұлбасы оның іргетасқа қалай бекігеніне, ұстынға жүк беретін арқалықтардың жалғау түрлеріне байланысты қабылданады. Ұстын іргетаспен қатаң не топсалы түрде бекітіледі.



Сурет 93. Ұстынның арқалықпен түйісу сұлбалары

#### 3.5.2. Ұстын қимасын таңдау

Ұстын қимасын таңдағанда, әсер ететін жүк шамасын, тірелетін конструкциялардың жалғауларын, пайдалану жағдайын, даярлау мүмкіндігін және сортаменттің барлығын ескеріп тиімді қима таңдауға ұмтылу керек. Ең бірінші шешетін мәселе – қос швеллерден тұратын салалы ұстын 2700-3500 кН, ал екі қоставрдан тұратын ұстын 5500-5600 кН көтере алады.

Өте үлкен жүк әсер еткенде тұтас қималы ұстын қабылданады, өйткені салалы қималы ұстындарды даярлау қиындап кетеді.

#### 3.5.3. Тұтас ұстын шыбықтарының қимасын таңдау және конструктивтік жинақтау

Ұстын қимасының түрін таңдаған соң оның керекті ауданын келесі формула бойынша анықтаймыз:

$$A_{кер} = \frac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (169)$$

бұл жерде:  $N$  – ұстындағы есепті күш;  $\gamma_c$  – жұмыс шарты коэффициенті;  $\varphi$  – коэффициентін табу үшін ұстын иілгіштігін алдын-ала белгілейміз.

$\lambda = \frac{l_0}{r}$  ЭЕМ есептегенде  $\varphi$  коэффициентін ҚР ҚНЖЕ 5.04-23-2002 келтірілген формулаларды қолданып анықтауға болады.

Ұзындығы 5 – 6 тұтас ұстынға әсер ететін жүк  $N = 1500 - 2500 \text{ кН}$  болғанда,  $\lambda = 100 - 70$ ,  $N = 2500 - 4000 \text{ кН}$  әсер ететін қуатты ұстындар үшін  $\lambda = 70 - 50$  тең етіп қабылдауға болады. Иілгіштікті белгілеген соң оған сәйкес  $\varphi$  коэффициенті анықталады да (169) формула бойынша жуық шамамен керекті ауданды және инерция радиусы анықталады:

$$r_{кер} = \frac{l_0}{\lambda},$$

Инерция радиусының қима түріне сәйкес шамалары келесі формуламен өрнектеледі:

$$r_x = \alpha_1 \cdot h; \quad r_y = \alpha_2 \cdot b,$$

бұл жерде:  $h$  және  $b$  қима биіктігі мен ені;  $\alpha_1, \alpha_2$  – көп қималар үшін 18 кестеде келтірілген керекті инерция радиусын табуға мүмкіндік беретін коэффициенттер. Осыдан ұстын қимасының керекті бас өлшемдері анықталады:

$$\left. \begin{aligned} h_{кер} &= \frac{r_{кер}}{\alpha_1} \\ b_{кер} &= \frac{r_{кер}}{\alpha_2} \end{aligned} \right\}, \quad (170)$$

Алдағы бөліктерде келтірілгендей, қоставрлы қималы тұтас ұстындар үшін  $\alpha_1$  коэффициенті  $\alpha_2$  коэффициентіне қарағанда екі есеге жуық үлкен, сол себепті керекті  $b$  – ны тауып.  $h$  – ты конструктивтік және өндірістік талаптарға сәйкес етіп қабылдайды. Мысалға, ұстын мен арқалықтарды жалғастырғанда олардың белдеулерін ұстын қабырғасына автоматпен пісіруге мүмкіндік беретіндей етіп қабылдау және т.б. жағдайлар.



Қиманың бас өлшемдерін аңқтағаннан кейін белдеу мен қабырғаның қалыңдықтарын  $A_{кеp}$  шамасында жергілікті орнықтылықтары қамтамасыз етілетіндей етіп қабылданады.

Бірден үш шартқа ( $A_{кеp}, b_{кеp}, h_{кеp}$ ) сәйкес ұтымды қиманы табу мүмкін емес, өйткені алғашқыда иілгіштік еркін қабылданды.

Сәйкес еместігі білінгеннен кейін үстінде келтірілген шамаларға өзгертулер енгізіледі. Егер алдын-ала қабылданған иілгіштік өте үлкен болса, онда  $b_{кеp}, h_{кеp}$  – аз,  $A_{кеp}$  – үлкен шамалары сәйкес келеді. Сондықтан қиманың бас өлшемдерін өсіріп, ауданын кішірейту керек.

Егер қабылданған иілгіштік өте аз болса, онда  $b_{кеp}, h_{кеp}$  – үлкен,  $A_{кеp}$  – аз шамалары сәйкес келеді. Бұл кезде қиманың бас өлшемдерін кішірейтіп,  $A_{кеp}$  көбейтіп қабылдаған дұрыс.

$A, b$  және  $h$  шамаларына түзетулер енгізіп біткеннен кейін қиманың орнықтылығы тексеріледі:

$$r_x = \alpha_1 \cdot h; \quad r_y = \alpha_2 \cdot b;$$

$$\lambda_{\max} = \frac{l_0}{r_{\min}}; \quad \varphi_{\min} \rightarrow \lambda_{\max}$$

кернеу

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{\min} \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (171)$$

Керек болса, қима өлшемдеріне тағы да соңғы түзетулер енгізіледі.

Ұстын қимасын таңдау (171) формула бойынша орнықтылығын тексерумен аяқталады.

Орнықтылықты тексеру үшін қиманың геометриялық сипаттамалары анықталады:  $A$  – қима ауданы;  $J_x, J_y$  – инерция моменттері;

$$r_x = \sqrt{\frac{J_x}{A}}; \quad r_y = \sqrt{\frac{J_y}{A}} \text{ инерция радиустері.}$$

Ұстын әсер ететін есепті күштің шамасы өте аз болғанда, қима таңдау шекті иілгіштік бойынша жүргізілді, ол үшін керекті инерция радиусы анықталады:

$$r_{кеp} = \frac{l_0}{[\lambda]}, \quad (172)$$

бұл жерде:  $[\lambda]$  – ұстынның шекті иілгіштігі.

Қима таңдау конструктивтік талаптарды орындау арқылы жергілікті орнықтылықты қамтамасыз ететін элемент қалыңдығының ең аз шамаларын табу арқылы аяқталады.

Центрден тыс сығылғын ұстындар қималарын таңдау үстімізде келтірілген жолмен шешіледі, тек оның ерекшеліктері ескерілмеуі керек. Ұстынның керекті ауданы келесі формуламен анықталады.

$$A_{кер} = \frac{N}{\varphi_e \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (173)$$

бұл жерде:  $\varphi_e$  – центрден тыс сығылғандағы коэффициент, ол ұстынның келтірілген иілгіштігі мен келтірілген эксцентрицитеттерге байланысты табылады. Иілгіштік центрден сығылатын ұстын қимасын таңдау тәрізді алдын-ала қабылданады, келтірілген иілгіштік  $\lambda = \lambda \sqrt{E/R_y}$  -өрнегі бойынша табылады.

Эксцентрицитет  $e = \frac{M}{N}$  өрнегі бойынша табылады. Келтірілген эксцентрицитет  $m = \frac{e}{\rho}$ , ал  $\rho = \frac{W}{A}$  қима ядросының радиусы; қима сұлбасының орнықтылыққа әсерін ескерсек табылған келтірілген эксцентрицитет  $m_1 = \eta \cdot m$  өрнегімен табылады. Бұл жерде  $\eta$  – қима сұлбасының орнықтылыққа әсерін ескеретін коэффициент (ҚР ҚНЖЕ 5.04-23-2002 бойынша анықталады).

Ұстын қимасының бас өлшемдері (173) формуламен табылады. Қоставрлы қиманың қабырға қимасы мен белдеулерінің қалыңдықтарын қабылдап, белдеу ауданының керекті шамасын табамыз:

$$A_f = \frac{(A_{кер} - t_\omega \cdot h_\omega)}{2} \quad \text{немесе} \quad A_f = \frac{\left( A_{кер} - 2 \cdot 0,85 t_\omega^2 \cdot \sqrt{E/R_y} \right)}{2}, \quad \text{бұл жерде,}$$

$2 \cdot 0,85 t_\omega^2 \cdot \sqrt{E/R_y}$  қабырғаның жергілікті орнықтылықтарын жоғалтпайтын бөлігі.

Центрден тыс сығылған ұстынның созылымдылық деформациясының дамуын ескере беріктігін тексеру келесі формуламен тексеріледі:

$$\left( \frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n + \frac{M_x}{c_x W_{x,нм,мин} R_y \gamma_c} + \frac{M_y}{c_y W_{y,нм,мин} R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (174)$$

бұл жерде:  $N, M_x, M_y$  – бойлық күш пен иілу моменттері;  $A_n, W_{x,нм,мин}, W_{y,нм,мин}$  – қима ауданы мен қарсыласу моменттері;  $n, c$  – созылымдылық деформацияның дамуын ескере есептелгендегі ҚР ҚНЖЕ 5.04-23-2002 құжаты бойынша қабылданатын коэффициент.

Центрден тыс сығылған ұстынның орнықтылығы келесі формуламен тексеріледі:

$$\frac{N}{\varphi_e \cdot A} \leq R_y \gamma_c, \quad (175)$$

Момент әсер ететін жазықтықтан тыс жазықтығында орнықтылығы келесі формуламен тексеріледі:

$$\frac{N}{c \varphi_y A} \leq R_y \gamma_c, \quad (176)$$

бұл жерде:  $\varphi_y$  – бойлық иілу коэффициенті. Ол  $\lambda_y = \frac{l_y}{r_y}$  - иілгіштігі бойынша анықталады;  $c$  – шыбықтың иіле – бұрала орнықтылық жоғалтуына моменттің әсерін ескеретін коэффициент.  $c$  – коэффициенті келесі формуламен анықталады:

$$m_x < 5 \text{ кезде } c = \frac{\beta}{1 + \varphi_1 \cdot m_x}, \quad (177)$$

бұл жерде  $\alpha, \beta$  – коэффициенттері ҚР ҚНЖЕ 5.04-23-2002 бойынша анықталады.

$$m_x \geq 10 \text{ кезде } c = \frac{1}{1 + \frac{m_x \varphi_y}{\varphi_6}}, \quad (178)$$

бұл жерде:  $\varphi_6$  – арқалықтың жалпы орнықтылығын тексеретін коэффициент.

$$5 < m_x < 10 \\ c = C_5 \cdot (2 - 0,2 \cdot m_x) + C_{10} \cdot (0,2 \cdot m_x - 1), \quad (179)$$

### 3.5.4. Ұстын шыбығының конструктивтік әрленуі

Центрден сығылған ұстын белдеулері мен қабырғасын біріктіретін пісіру жігінің катеті, кездейсоқ эксцентритет әсерінен пайда болатын көлденең қиюшы күш шамасының өте аз болғандығынан аса үлкен болмайды. Сол себепті ұстын белдеуі мен қабырғасын біріктіретін пісіру жігінің катеті мен қабырғасын біріктіретін пісіру жігінің катеті конструктивтік талаптарға сәйкес қабылданады.

Жергілікті орнықтылығын қамтамасыз ету шартынан қабырға биіктігінің  $h_0$  оның қалыңдығына  $t$  қатынастарының ең үлкен мәндерін 20 кестеде келтірілген формулалар арқылы табуға болады, ал белдеу шығысының оның қалыңдығына қатынасы, егер келтірілген иілгіштігі  $0,8...4$  – дейін болғанда, онда келесі шарт орындалуы керек.

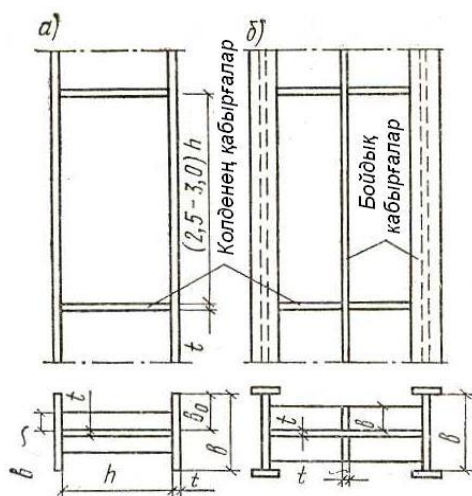
Кесте 20.

Қабырға биіктігінің  $h_0$  оның қалыңдығына  $t$  қатынастарының ең үлкен мәндерін

| Салыстырмалы эксцентриситет | Элемент қимасы              | $\lambda$ және $\lambda_1$ мағаналары | $\lambda u \omega$ анықталатын формулалар   |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---|
| $m = 0$                     | қоставр                     | $\lambda < 2,0$<br>$\lambda > 2,0$    | $\lambda u \omega = 1,3 + 0,15\lambda^2$<br>$\lambda u \omega = 1,2 + 0,35\lambda$ , тек 3-тен көп емес   |
|                             | қорап прокатталған швеллер  | $\lambda < 2,0$<br>$\lambda > 2,0$    | $\lambda u \omega = 1,2$<br>$\lambda u \omega = 1,0 + 0,2\lambda$ , тек 1,6 –дан көп емес                 |
|                             | прокатталмаған швеллер үшін | $\lambda < 0,8$<br>$\lambda > 0,8$    | $\lambda u \omega = 1,0$<br>$\lambda u \omega = 0,85 + 0,19\lambda$ , тек 1,6 көп емес                    |
| $m > 0$                     | қоставр, қорап              | $\lambda < 2,0$<br>$\lambda > 2,0$    | $\lambda u \omega = 1,3 + 0,15\lambda^2$<br>$\lambda u \omega = 1,2 + 0,35\lambda$ , тек 3,1-ден көп емес |

$\lambda$  - центрден сығылған элементтің келтірілген иілгіштігі;

$\lambda_1$  - центрден тыс сығылған элементтің иілу моментінің әсер ететін жазықтықтағы иілгіштігі.



Сурет 94. Тұтаст ұстын шыбығындағы

көлденең және бойлық қырлар

$\frac{b_{ef}}{t_f} (0,36 + 0,1\bar{\lambda}) \sqrt{E/R_y}$  сығылған шыбық қимасы шектік иілгіштік

шартымен анықталғанда  $\frac{b_{ef}}{t_f}$  және  $\frac{h_0}{t}$  мәндерін  $\sqrt{\frac{R_y}{\sigma}} \cdot \varphi$  коэффициентіне

көбейту керек, бұл жерде  $\sigma = \frac{N}{A}$ , бірақ ол 1,25 – тен артпауы керек.

Бұл жағдайда қоставрлы қима үшін келтірілген иілгіштік  $\bar{\lambda} \leq \sqrt{E/R_y}$  аспауы қажет.

$\frac{b_{ef}}{t_f}$  және 20 кестедегі шамалар ұстын иілгіштігі артқан сайын өсе

түседі, яғни қабырға мен белдеу қалыңдықтары ұстын шыбығындағы кернеу азайған сайын салыстырмалы түрде жұқара түседі. Болаттың есепті қарсыласуы өскен кезде қабырға мен белдеу қалыңдықтары өсе түсуі керек, өйткені ұстын шыбығындағы кернеу шамасы өседі.

Егер конструктивтік шешім бойынша қабырғаның биіктігі мен қалыңдығының қатынасы 20 кестеде келтірілген шамадан артық етіп қабылданса, онда қабырға бойлық қатаңдық қырларымен қабырғаның есепті биіктігі  $h_0$  қыр мен шыбық белдеуінің арақашықтығына тең етіп қабылданады.

Қатаңдық қырлары қабырғаның бір немесе екі жағынан қойылады. Қабырғаны бойлық қатаңдық қырымен бекіткенде  $\frac{J_{\sigma k}}{h_0 \cdot t^3} \leq 6$  болғанда 20

кестедегі  $\frac{h_0}{t}$  мәндері келесі формуламен анықталатын коэффициентке көбейтіледі.

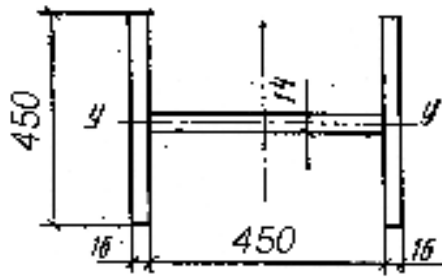
$$\beta = 1 + 0,4 \frac{J_{\sigma k}}{h_0 t^3} \left( 1 - 0,1 \frac{J_{\sigma k}}{h_0 t^3} \right),$$

бұл жерде:  $J_{\sigma k}$  – бойлық қыр қимасының инерция моменті.

Бойлық қатаңдық қырының ауданын шыбық қимасының есепті ауданына қосады.

Қиманың пішінін және ұстын қабырғасын бекіту үшін  $\frac{h_0}{t} \leq 2,2 \sqrt{E/R}$  болғанда, арақашықтығы 2,5 – 3м етіп көлденең қатаңдық қырлары қойылады, әр тасымалданатын бөлікте екі қырдан кем қойылмайды.

**3.1 мысал.** Тұтас қималы центрден сығылған ұстын басы топсалы негізі қатаң бекітілген; материалы – ВСт3 пс 6-1 маркалы болат,  $R_y = 230 \text{ МПа}$ , ұстын шыбығына әсер ететін есепті ішкі күш  $N = 4240 \text{ кН}$ ; жұмыс шарты коэффициенті



Сурет 95. Ұстын қимасы

$\gamma_c = 1$ . Ұстын шыбығы үшін үш қаңылтыр пісіріліп біріктіріледі, қима – қоставр (95 сур.).

Шыбықтың есепті ұзындығы  $l = 0,7 \cdot 7 = 4,9 \text{ м}$ .

Иілгіштігін  $\lambda = 50$  –ге тең етіп қабылдаймыз,  $\varphi = 0,848$ . Қиманың керекті мәндерін анықтаймыз:

$$A_{кер} = \frac{N}{\varphi \cdot R_y} = \frac{4240}{0,848 \cdot 23} = 217,4 \text{ см}^2$$

инерция радиусы  $r_{кер} = \frac{l_0}{\lambda} = \frac{490}{50} = 9,8 \text{ см}$

Қима ені

$$b_{кер} = \frac{r_{кер}}{\alpha_2} = \frac{9,8}{0,24} = 40,83 \text{ см}$$

Белдеу қимасын  $A_f = A_{кер} - A_w = 217,4 - 1,4 \cdot 41,8 = 158,88 \text{ см}^2$

$$b_f = \frac{A_f}{2t_f} = \frac{158,88}{2 \cdot 1,6} = 49,65 \text{ см}, \text{ қабылдағанмыз } b_f = 45 \text{ см}.$$

Қабылдаған қиманың орнықтылығын тексереміз:

$$J_y = 2 \cdot \frac{1,6 \cdot 45^3}{12} = 24200 \text{ см}^4;$$

$$r_y = \sqrt{\frac{J_y}{A}} = \sqrt{\frac{24200}{202,52}} = 10,95 \text{ см}$$

$$\lambda_y = \frac{490}{10,95} = 44,74; \quad \varphi_y = 0,876$$

$$\sigma = \frac{4240}{0,876 \cdot 202,52} = 23,69 \frac{kH}{cm^2}; \text{ кернеулілігі} + 3\% < 5\%.$$

Қабылдаған қиманың орнықтылығы қамтамасыз етілген қиманың жергілікті орнықтылығын тексереміз:

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{E / R_y} = 44,9 \sqrt{23 / 2,06 \cdot 10^4} = 1,5$$

$$19 \text{ кесте бойынша } \lambda_{u\omega} = 1,3 + 0,15 \cdot \bar{\lambda}^2 = 1,3 + 0,15 \cdot 1,5^2 = 1,63;$$

$$\frac{h_f}{t_\omega} = \frac{41,8}{1,4} = 29,85 < 1,63 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{23}} = 46,9; \quad \text{қабырғаның жергілікті орнықтылығы қамтамасыз етілген.}$$

Белдеудің жергілікті орнықтылығын тексереміз:

$$\frac{b_{ef}}{t_f} = (0,36 + 0,1\bar{\lambda}) \sqrt{E / R};$$

$$\frac{21,8}{1,6} = 13,62 \leq (0,36 + 0,1 \cdot 1,5) \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{23}} = 15,25$$

Белдеудің жергілікті орнықтылығы қамтамасыз етілген.

### 3.5.5. Салалы ұстынның қимасын таңдау

Центрден сығылған ұстын қимасын таңдау.

Салалы ұстынның еркін өсі бойындағы орнықтылығы, бұтақтарды біріктіретін тордың деформациялануы себепті, келтірілген иілгіштік бойынша тексеріледі.

Келтірілген иілгіштік тордың түріне, екі бұтақтың арақашықтығына байланысты. Екі бұтақтың арақашықтығы (88  $a - b$  сур.) салалы ұстынның  $x$  және  $y$  өстері бойына тең орнықтылықты қамтамасыз ету шарты бойынша анықталады. Ол шарт салалы ұстын қимасының еркін өсі бойындағы келтірілген иілгіштігі мен материалдық өсі бойындағы иілгіштік тең болуға тиіс.

Салалы ұстын қимасын таңдау материалдың өс  $x$  бойынша орнықтылығын қамтамасыз ету шарты бойынша (169) формуланы пайдалана басталады.

$$A_{кер} = \frac{N}{\varphi_x \cdot R_y \cdot \gamma_c},$$

Қима таңдау тұтас қималы центрден сығылған ұстындардың қималарын таңдаумен бірдей жүргізіледі.

Салалы ұстындар қимасы бойына материалдың ұтымды орналасуына байланысты оның иілгіштігі бірдей жағдайларда тұтас қималы ұстындарға қарағанда аздау болады.

Шыбық қимасын қабылдағаннан кейін оның материалдық өс бойынша орнықтылығы келесі формуламен тексеріледі:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_x A} < R_y \gamma_c ,$$

Егер қима дұрыс таңдалса, онда салалы ұстын қимасын таңдаудың келесі сатысына өтеміз. Келесі сатыда тең орнықтылықты қамтамасыз ету шарты бойынша  $\lambda_{кел} = \lambda_x$  бұтақтардың арақашықтығы анықталады.

Келтірілген иілгіштік алда келтірілген 149 немесе 155 формулалар бойынша қабылданған тор түрлеріне байланысты анықталады.

$$\lambda_y = \sqrt{\lambda_{кел}^2 - \lambda_1^2} = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_1^2} , \quad (180)$$

Бұл кезде  $\lambda_y < \lambda_1$  болуы керек, ал кері жағдайда ұстын бұтағы өз орнықтылығын тұтас ұстынға қарағанда бұрын жоғалтады.

$\lambda_y$  иілгіштігі анықталғаннан кейін оған сәйкес инерция радиусы  $r_y = \frac{l_0}{\lambda_y}$  және оған байланысты бұтақ арақашықтығын  $b = \frac{r_y}{\alpha_2}$  табамыз.  $\alpha_2$  коэффициенті ұстын қимасының түріне байланысты 20 кестеден алынады,  $b$  шамасы ұстын өлшемдерінен бұтақ белдеулерінің арақашықтығына байланысты қабылданады.

Үшбұрышты торлы ұстындардың иілгіштігін табу үшін көлбеу тіреудің ауданын алдын – ала қабылдайды,  $\lambda_y$  – сөйтіп шамасын анықтайды.

$$\lambda_y = \lambda_x^2 - \alpha_1 \frac{A}{A_p} , \quad (181)$$

Қалған есептеулер тақтайшалы салалы ұстындар тәрізді жүргізіледі.

### 3.5.6. Тақтайшалы торды есептеу

Тақтайшалар арақашықтығы бұтақ иілгіштігіне және инерция радиусына байланысты.

$$l_0 = \lambda_y \cdot r_y , \quad (182)$$



Пісіріліп біріктірілген ұстындардың бұтақтарының есепті ұзындығы тақтайшалардың шеттерінің арақашықтығына тең етіп қабылданады.

Тақтайшаларды есептеу – олардың бұтақтарға пісіріліп бекітілген жіктің беріктігімен шектеледі. Тақтайшалар көлденең қиюшы күштің әсерінен иілуге жұмыс істейді. Көлденең қиюшы күш шамасы ұстын түйінінің тепе-теңдігін қамтамасыз ету шартынан анықталады:

$$Q_m \frac{l_0}{2} = F_m \frac{c}{2}, \quad (183)$$

бұл жерде,  $Q_m$  – тақтайшалар жүйесіне әсер ететін көлденең қиюшы күш, оның шамасы екі жүйелі тақтайшалары бар ұстындар үшін  $Q_m = \frac{Q_{шарм}}{2}$ ;  $l_0$  – тақтайшалар өстерінің арақашықтығы;  $c$  – бұтақ өстерінің арақашықтығы;  $Q_m = \frac{Q_{шарм}}{2}$ ;  $Q_{шарм}$  (168) формула бойынша анықталады. (181)

формуламен табылған  $\lambda_y$  иілгіштік бойынша керекті  $r_y = \frac{l_{oy}}{\lambda_y}$ , анықталады. Бұтақ өстерінің арақашықтығын анықтау үшін инерция моментін келесі формуламен табамыз;

$$J_y = r_y^2 \cdot A, \quad (184)$$

Екінші жағынан  $r_y$  келесі түрде өрнектеледі;

$$J_y = 2J_1 + 2A_1 \left( \frac{c}{z_0} \right)^2, \quad (185)$$

Бұл жерде:  $J_1$  – әр бұтақтың ауырлық центрі бойынша инерция моменті;  $A_1$  - бұтақ ауданы. (183) формуладан  $c$  – мәнін табамыз.

Жолақ тақтайшаға әсер ететін ішкі күштер:

$$F_m = \frac{Q_m \cdot l_0}{c} \quad (186)$$

$$M_m = F_m \cdot \frac{c}{2} = \frac{Q_m \cdot l_0}{c} \cdot \frac{c}{2} = \frac{Q_{fic} \cdot l_0}{4}$$

Пісірілген ұстындар үшін жолақ тақтайшалардың беріктігі келесі формуламен тексеріледі (сур.96, а):

$$\sigma_{кел} = \sqrt{\sigma_{жс}^2 + \tau_{жс}^2} \leq (\beta_f \cdot R_{of} \cdot \gamma_{of})_{\min} \cdot \gamma_c, \quad (187)$$

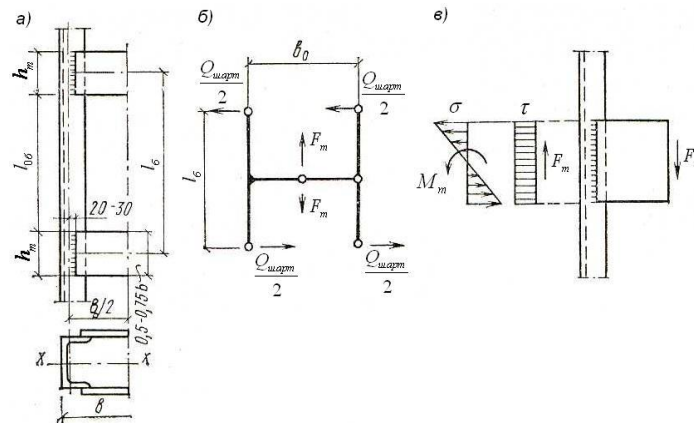
бұл жерде:  $\sigma_{жс} = \frac{M_m}{W_{жс}}$  – жіктегі иілу моментінен пайда болатын кернеу;

$\tau = \frac{F_m}{A_{жс}}$  – жіктегі көлденең қиюшы күштен пайда болатын кернеу;

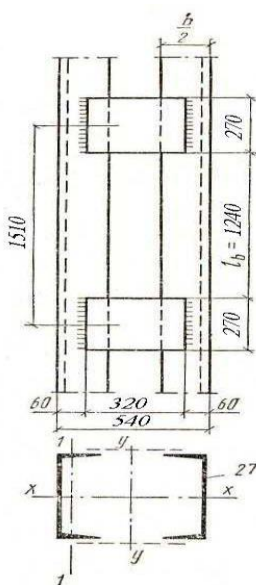
$(\beta_f R_{\omega f} \gamma_{\omega f})_{\min}$  тік бұрыштық жіктің ең кіші есепті қарсыласуы:

$W_m = \frac{k_f \cdot l_{\omega}^2}{6}$ ;  $A_{жс} = k_f \cdot l_{\omega}$ ;  $l_{\omega}$  – жолақ тақтайша өлшемдеріне байланысты қабылданады.

$$d_m = (0,5 \dots 0,75) \cdot b, \quad t_m \geq d \sqrt{R_y / E}$$



Сурет 96. Тақтайша жолақтарды есептеуге арналған есептік сұлба



Сурет 97.

3.2. мысал есепке арналған жолақ тақтайшалы ұстынның шыбығы

**3.2 Мысал.** Салалы ұстынның қимасын таңдау. Берілгендері:

$$N = 2240 \text{ кН}; \quad l_x = l_y = 700 \text{ см}. \quad R_y = 230 \text{ МПа}$$

Материалдық өс бойынша есептеу тұтас қималы ұстын тәрізді жүргізіледі.

Қабылдағанамыз  $\lambda_x = 50$ ;  $\varphi_x = 0,848$ .

$$A_{кер} = \frac{N \cdot \gamma_n}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{2240 \cdot 0,95}{0,848 \cdot 23 \cdot 1} = 109,1 \text{ см}^2$$

Сортамент бойынша қабылдағанамыз N36

$$A_1 = 53,4 \text{ см}^2$$

$$A = 2A_1 = 106,8 \text{ см}^2;$$

$$r_x = 14,2 \text{ см}; \quad r_y = 3,1 \text{ см};$$

$$\lambda_x = \frac{700}{14,2} = 49,3; \quad \varphi_x = 0,849$$

Қиманың орнықтылығы:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{N \cdot \gamma_n}{\varphi_x \cdot A} = \frac{2240 \cdot 0,95}{0,849 \cdot 106,8} = \\ &= 22,23 \frac{kH}{cm^2} < 23 \frac{kH}{cm^2} \end{aligned}$$

Кернеулілігі-3,34% < 5%

### Еркін өс бойынша есептеу

**I вариант.** Жолақ тақтайлы салалы ұстын үшін тең орнықтылықты қамтамасыз ету шарты бойынша  $\lambda_{кел} = \lambda_x$ , онда (180)

$\lambda_y$  - арқылы табамыз

$$\lambda_y = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_1^2} = \sqrt{49,3^2 - 40^2} = 28,8$$

$y$  өсі бойынша инерция моментінің радиусы:

$$r_y = \frac{l_y}{\lambda_y} = \frac{700}{28,8} = 24,3 \text{ см}$$

Табылған  $r_y$  қолданып (184) формуламен инерция моменті:

$$J_y = A \cdot r_y^2 = 106,8 \cdot (24,3)^2 = 63064,3 \text{ см}^4$$

(183) формула арқылы  $c = 48 \text{ см}$

Салалы ұстын қимасының енін  $b = 54 \text{ см}$  тең етіп қабылдаймыз.

Шартты көлденең қиюшы күш (168) формуламен анықтаймыз:

$$\begin{aligned} Q_{шарт} &= 7,15 \cdot 10^{-6} A \cdot E \cdot \beta \left( 2330 \frac{R_y}{E} - 1 \right) = \\ &= 7,15 \cdot 10^{-6} \cdot 106,8 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot 1 \times \left( 2330 \frac{23}{2,06 \cdot 10^4} - 1 \right) = 23,58 \text{ кН} \end{aligned}$$

Жолақ тақтайшалар арақашықтығы  $l_1 = 3,1 \cdot 40 = 124 \text{ см}$ .

Жолақ тақтайша ені  $d_{жс} = 0,5 \cdot 54 = 27 \text{ см}$ ;  $l_{\sigma 1} = 151 \text{ см}$ ;  $t_{жс} = 1,8 \text{ см}$

$$F_m = \frac{Q_m \cdot l_{\sigma}}{c} = \frac{23,58 \cdot 151}{2 \cdot 48,5} = 36,7 \text{ kH}$$

$$M_m = \frac{Q_m \cdot l_{\sigma}}{4} = \frac{23,58 \cdot 151}{2 \cdot 4} = 445 \text{ kH} \cdot \text{cm}$$

Жолақ тақтайшадағы кернеулер:

$$\sigma_{\text{жс}} = \frac{6M_m}{\beta_f R_f l_{\omega}^2} = \frac{6 \cdot 445}{0,7 \cdot 0,7 \cdot (25,6)^2} = 8,31 \frac{\text{kH}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau = \frac{F_m}{\beta_f R_f l_{\omega}} = \frac{36,7}{0,7 \cdot 0,7 \cdot (25,6)} = 2,9 \frac{\text{kH}}{\text{cm}^2}$$

Қолмен пісірген кезде жік металлы бойынша

$$\beta_f R_{\text{эф}} = 0,7 \cdot 18,0 = 12,6 \text{ kH} / \text{cm}^2$$

Негізгі металлдың балқыған шекарасы бойынша

$$\beta_z R_{\text{оx}} = 1,16 = 16 \frac{\text{kH}}{\text{cm}^2} > \beta_f R_{\text{эф}}$$

Жолақ тақтайша жігіндегі келтірілген кернеу модулі:

$$\sqrt{\sigma_{\text{жс}}^2 + \tau_{\text{жс}}^2} = \sqrt{8,31^2 + 2,9^2} = 8,79 \frac{\text{kH}}{\text{cm}^2} < \beta_f R_{\text{эф}} = 12,8 \frac{\text{kH}}{\text{cm}^2}$$

## II вариант. Көлбеу тіреулі салалы ұстын.

Ұстындағы бойлық күштен пайда болатын кернеу:

$$\sigma_{\kappa} = \frac{N}{A} = \frac{2240}{106,8} = 20,97 \frac{\text{kH}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Көлбеу тіреудегі бірінші кернеу } \sigma_{\kappa T}^1 = \sigma_{\kappa} \cdot \cos^2 \alpha = 20,97 \cdot (0,5)^2 = 5,24 \frac{\text{kH}}{\text{cm}^2}$$

$\alpha = 60^{\circ}$  тең етіп қабылдаймыз.

Шартты көлденең қиюшы күштен пайда болатын кернеу шамасы:

$$\sigma_{\kappa T}'' = \frac{N_{\kappa T}}{A_{\kappa T}} = \frac{Q_{\text{шарт}}}{n \sin \alpha A_{\kappa T}} = \frac{23,58}{2 \cdot 0,866 \cdot 4,80} = 2,83 \frac{\text{kH}}{\text{cm}^2};$$

Кернеулердің қосындысы:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sigma_{\lambda T}^I + \sigma_{\kappa T}'' = 5,24 + 2,83 = 8,07 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} \langle \varphi R_y \gamma_c = \\ &= 0,787 \cdot 23 \cdot 0,75 = 13,57 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}\end{aligned}$$

бұл жерде  $\varphi$  – бойлық иілу коэффициенті:

$$\lambda = \frac{96}{1,53} = 62,7 \rightarrow \varphi = 0,787$$

Қабылданған тең қабырғалы 50x5 бұрышы көлбеу тіреу қызметін атқара алады. Бір бұрыш қолданылған кезде жұмыс шарты коэффициенті  $\gamma_c = 0,75$  тең.

Көлденең тартпалар бұтақтың есептің ұзындығын азайтуға қолданылады. Көлбеу тіреулер үшін 40x5мм бұрыштан кішісін қабылдауға рұқсат етілмейді.

### Центрден тыс сығылған салалы ұстындар

Салалы ұстындардың бұтақтарына әсер ететін ішкі күштер келесі формула бойынша анықталады:

Бірінші бұтақ

$$N_{\delta_1} = N_1 \frac{Y_2}{h_0} + \frac{M_1}{h_0}, \quad (188)$$

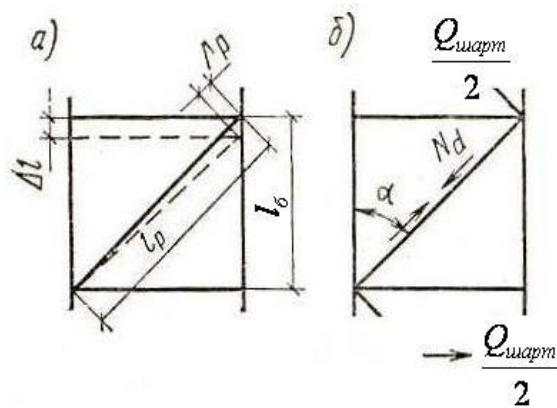
Екінші бұтақ

$$N_{\delta_2} = N_1 \frac{Y_2}{h_0} + \frac{M_2}{h_0}, \quad (189)$$

бұл жерде  $N, M$  – есепті бойлық күшпен иілу моменттері;  $y_1, y_2$  – ұстын қимасының ауырлық центрінен бұтақ қималарының ауырлық центрлеріне дейінгі арақашықтық;  $h_0 = y_1 + y_2$  – бұтақ ауырлық центр жерінің арақашықтығы.

Табылған ішкі күштер бойынша бұтақ қималары центрден сығылған элементтерге ұқсатып есептелінеді.

Салалы ұстын қимасы бұтақ қималары табылған соң жалпы орнықтылығы (167) формуламен тексеріледі.



Сурет 98. Көлбеу торлардың есебіне арналған есептік схема

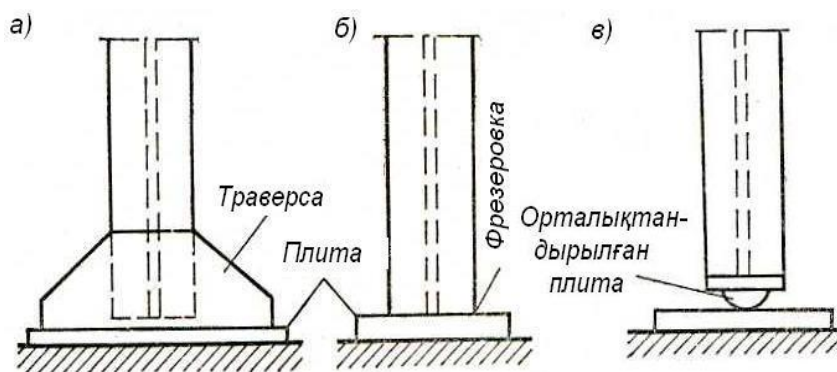
### 3.6. Ұстынның негізі

#### 3.6.1. Негіздің түрлері мен конструктивтік ерекшеліктері

Негіздің конструкциясын ұстынның қабылдаған есепті сұлбасы мен іргетасқа жалғасу тәсіліне сәйкес болуын қамтамасыз етуі қажет. Іргетаспен топсалы бекітілген негіз кездейсоқ момент әсерін қабылдай алатындай, ал қабақ бекітілген кезде іргетаспен жалғасуы бұрылмайтындай болуы керек.

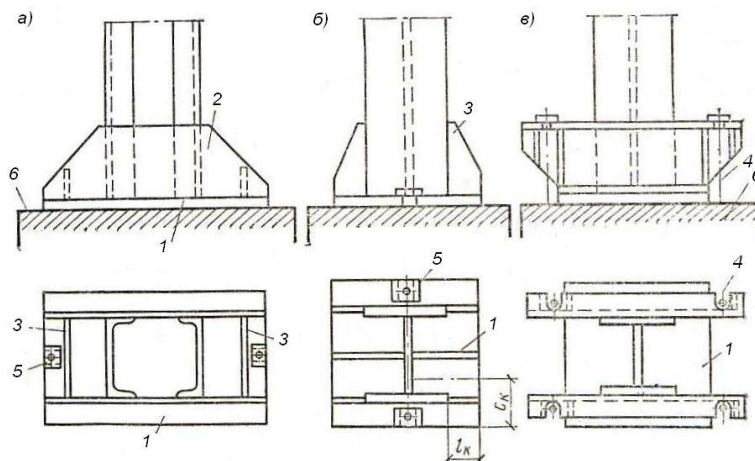
Конструктивтік шешімдері бойынша траверсалы, (99, а сур.) кесігі фрезерленген (99, б сур.), орталықтандырылған плита (99, в сур.) болулары мүмкін

Аса үлкен емес ішкі күштер әсер ететін ұстындарда (4000-5000 кН) көбінде траверсалы негіз қолданылады. Қажет кезінде траверсадан басқа қатандық қырлары қойылады. Жеңіл ұстындар үшін тек қатандық қырлар қойылса да жеткілікті.



Сурет 99. Ұстын негіздерінің түрлері

Аса үлкен ішкі күштер әсер ететін ұстындар (6000-10000 кН) қима кесігін фрезерлеу дұрыс, бұл шешім қарапайым оңай монтаждауды қамтамасыз етеді.



Сурет 100. Ұстындар негіздері  
 1 – плита; 2 – траверса; 3 –қыр; 4 – анкерлі болт;  
 5 – анкерлі шайба; 6 – іргетас

Топсалы негіз есепті сұлбаға сәйкес болғанымен монтаждау кезде әртүрлі проблемалар тудырады. Сондықтан сирек қолданылады. Қарнақ болттар ұстын шыбығына шығарылған аспалы конструкциялары арқылы есепті қарсыласына жақын шамаға дейін қатты бұралып бекітіледі.

Қарнақ болттар диаметрлері топсалы бекітілгенде  $d = 20 - 30$  мм-ге, ал қатаң бекітілгенде  $d = 24 - 36$  мм-ге тең. Қарнақ болттар орналастырылатын тесіктер оның диаметрінен 1,5 – 2 есеге артық қабылданылады. Қарнақ болттарға шайбалар кигізіледі, олар болттар тартылып болғаннан кейін пісіріліп бекітіліп тасталынады.

### 3.6.2. Траверсалы негіздің конструктивтік әрленуі және есептелінуі

Негіз түрі қабылданған соң, оның тірек плитасының өлшемдері мен қалыңдықтары анықталынады.

Керекті аудан

$$A_{кер} = \frac{N}{R_{мыжб}}, \quad (190)$$

бұл жерде:  $N$  – ұстынғы әсер ететін ішкі күш;  $R_{мыжб}$  – іргетас бетонның мыжылуға есепті қарсыласуы.

$$R_{мыжб} = R_b \sqrt{A_{ip} / A_{pe}} = R_b \gamma, \quad (191)$$

бұл жерде:  $R_b$  – бетонның призмалық беріктігі.

$\gamma$  – алғашқы кезде 1,5 тең етіп қабылданады.

Плита өлшемдері (182) формуламен анықталып конструктивтік талаптарға сай, траверса мен қатандық қырларын қоя алатындай етіп қабылданады.

Плитаны серпімді негізде жатқан конструкциялар тәрізді есептелу керек, бірақ бұл әдіс өте күрделі болғандықтан академик В.Г. Галеркин құрған кестелерді қолданып жүргізіледі.

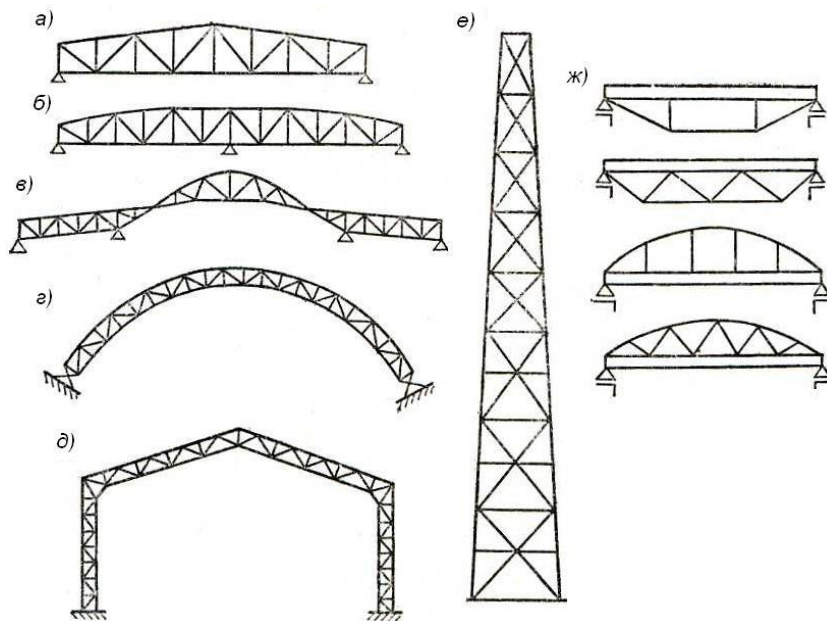


## 4. ФЕРМАЛАР

### 4.1. Ферма жүйелері мен құрылыс конструкцияларындағы пайдалану облыстары

«Ферма» – деп, негізінен иілуге жұмыс істейтін, ұзына бойы торлы конструкцияларды атаймыз. Болат фермалар өндірістік, азаматтық ғимараттар жабындарында, ангарлар мен вокзалдарда және т.б. жерлерде кеңінен қолданылады. Үлкен аралықты көпірлер, радиомұнаралары мен дінгектер, электр жүйесінің желілері және де басқа көптеген конструкциялар болат фермалардан соғылады. Фермалар – тұтас арқалықтарға қарағанда металл шығыны жайынан тиімдірек, ал еңбек шығынын көбірек қажет ететін конструкциялар. Олар ғимараттармен құрылымдарға архитектуралық сән – салтанат береді, кез – келген сұлбаны алады, оңай даярланады.

Фермалар – жүктің түріне шамасына байланысты білік темірден, әртүрлі профильден және қаңылтырдан тұрады. Олар жеңіл және ауыр болып бөлінеді, статикалық есепті сұлбасы бір аралықты еркін жатқан, көп тіреулі аспалы және рамалы болып кездеседі (101 сур.).



Сурет 101. Фермалар жүйесі

а – арқалық; б – кесілмеген; в, е – топсалы; г – арқалы;  
д – рамалы; ж – аралас

Мұнаралар мен дінгектер тік ферма жүйелері болып саналады. Архитектуралық және пайдалану талаптарына сәйкес арқалы және рамалы фермалар қолданылады.

Фермалар мен арқалықтар арасында аралас жүйелер кездеседі, арқалықтар төменгі жағынан жоғарғы жағынан ферма мен арқамен күшей-

тілген. Арқа мен фермада пайда болатын тартпа күштер арқалықтағы иілу моментінің шамасын азайтады. Аралас жүйелерді даярлау оңай және ауыр конструкцияларға тағы да жылжымалы конструкциялар үшін тиімді. Аралас жүйелерде прокат арқалықтар қолданылғандықтан бағасы мен еңбек шығыны азаяды. Алдын – ала кернеулеу аралас жүйелердің тиімділігін арттыра түседі. Үлкен аралықты жабындар мен көпірлі кран асты фермасы конструкцияларда конструкция салмақтарын азайту үшін алюминий қортпалары қолданылуы мүмкін. Кейінірек құрылыста кең қолданылатын стропилалық фермалар қарастырылады.

## 4.2. Ферма конструкцияларын жинақтау

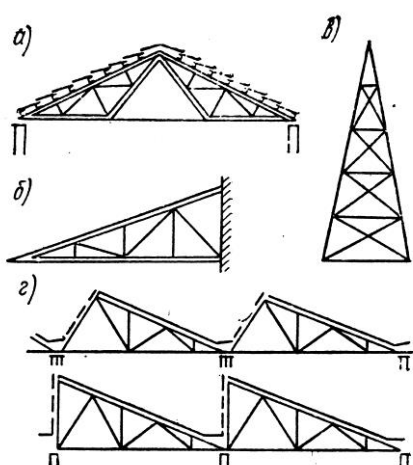
### 4.2.1. Ферманың сұлбасын анықтау

Ферманың сұлбасын анықтау жобалаудың бірінші сатысы болып табылады. Ферманың сұлбасы ғимарат пен құрылымның түріне байланысты. Қабылданған конструкциялармен оңай жапсарласатын болуы керек. Өндірістік ғимараттарда стропилалық ферма сұлбасы цех түріне, қабылданған жабынға, күнтартардың түрі мен өлшеміне, ұстын мен ферманың бірігу түріне байланысты. Сонымен қатар, ферма сұлбасы статикалық сұлбаға сәйкес болуға тиіс, мысалға шығып тұрған аспалы фермалар үшбұрышты бір ылдиы бір қалыпты жайылған жүк әсер ететін фермалар дөңес көпбұрышты болып кездеседі.

**Үш бұрышты сұлбалы фермалар.** Үшбұрышты сұлба аспалы жабындарға, дінгектер мен мұнараларға, стропилалық фермаларға беріледі.

Үшбұрышты сұлбалы жабын үлкен бұрышпен жабылғанда, жабын материалына байланысты қабылданады. Үшбұрышты стропилалық фермалардың бірнеше конструктивтік кемшіліктері бар:

- Тірек түйіні сүйір бұрышты болғандықтан ұстынмен тек топсалы түрде біріге алады, ал ол өндірістік ғимараттың көлденең қатандығын төмендетеді;



Сурет 102.

Үшбұрышты фермалар

- Тордың ортаңғы элементтері ұзын болғандықтан қимасы шекті иілгіштік бойынша табылады, ал ол материалдың артық шығынына әкеп соқтырады;
- Үшбұрышты стропилалық ферма сұлбасы иілу моментінің парабола тәрізді эпюрасына сәйкес емес.

Бірақ та соған қарамастан үшбұрышты фермаларда ішкі күштер тиімді таралмағанына қарамастан ғимаратпен құрылымды жи-нақтау кезіндегі жалпы талаптарға сәйкес қолданыла береді. Ғимарат ішіне күндізгі жарық түсіру үшін қатпарлы

жабын пайдаланылғанда үшбұрышты фермалар қолданылады.

Трапеция тәрізді жоғарғы белдеуі аз еңістелген фермалар – үшбұрышты фермалар орнына, еңісті үлкен бұрышын қажет етпейтін жабын материалдарды қолдану мүмкіндігі болған кезде шыққан. Бұл фермалар ұстынмен қатаң біріктіруге мүмкіндік береді, сөйтіп ғимараттың қатандығын арттырады. Трапеция тәрізді фермалар момент эпюрасына сәйкес, аралық ортасында ұзын шыбықтар жоқ.

Көп бұрышты тәрізді фермалар, ауыр фермалар үшін қолданылады, өйткені олар иілу момент эпюрасына сәйкес. Сондықтан металл шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Белдеуі қисайғандықтан ауыр фермалардағы металл шығыны аса көбеймейді, өйткені әр шыбығы жеке тасымалданатын болғандықтан әр шыбық жеке – жеке біріктіріледі.

Жеңіл фермалар үшін көпбұрышты

тәрізді сұлба аса тиімсіз, өйткені конструктивтік қиындық еңбек шығынын көбейтеді де қол жеткен аз үнемделген металл шығыны жалпы шығынды азайта алмай қалады.

Белдеуі параллель фермалар көптеген конструктивтік артықшылықтарға ие. Белдеу мен тор шыбықтарының ұзындықтары бірдей болғандықтан түйін сұлбалары біртектес және белдеудегі жалғасу саны аз, сол себепті ол тәріздес фермаларда конструктивтік сұлбалар мен детальдардың қайталануы даярлауды индустриялауға мүмкіндік береді. Жұмсақ жабынның көп таралуы бұл фермаларды негізгі фермаларға айналдырып тұр.

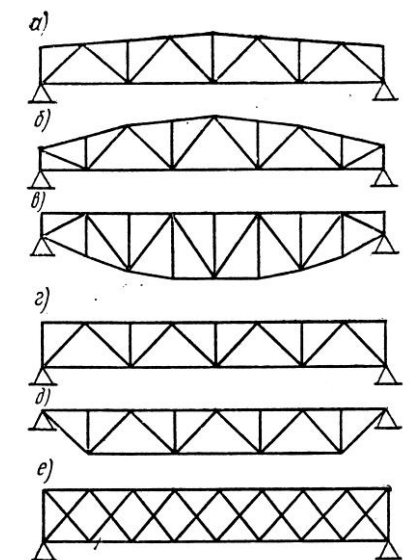
#### 4.2.2. Ферманың бас өлшемдері

**Ферма аралығын табу.** Аралық пен ферма ұзындығы көбінде құрылымның пайдалануға қойылатын талаптарына сәйкес жинақтау кезінде конструктордың ұсынылуымен анықталады.

Стропилалық ферманың, көпірлі кран, гидротехникалық қақпа т.б. аралықтары құрылымның технологиялық немесе архитектуралық сұлбасына сәйкес анықталып, көрші элементтерге жалғасу түріне сәйкес дәлденеді.

Стропилалық ферма тіреуге (ұстынға) еркін тірелгенде оның есепті аралығы (тіреу бөлігінің өстер ара қашықтықтары) жуық шамамен келесі формулалармен анықталуы мүмкін:

Еркін жатқан фермалар үшін:



Сурет 103. Арқалықты фермалар схемалары  
а – трапециялы; б, в – полигонды; г, д, е – параллель белдеулі

$$l_0 = l + \frac{a}{2}, \quad (192)$$

**Ортаңғы аралықтағы фермалар үшін:**

$$l_0 = l + a, \quad (193)$$

бұл жерде:  $l$  - тіреу араларындағы қашықтық;  $a$  - тіреудің ені.

Фермалар металл ұстындарға жанынан бекітілген кезде, ферма аралығы ұстын арақашықтықтарына тең етіп қабылданады.

Егер де конструкция аралығы технологиялық талаптармен шектелмесе (эстакадалар, құбырды көтеретін конструкциялар т.б.), онда оның аралығы ферма мен тіреудің құны ең аз болуына сәйкес экономикалық тиімді шамаларға тең етіп қабылданады.

**Үш бұрышты фермалардың биіктігі.** Үш бұрышты ферманың биіктігі жабынның аралығы мен ылдилауына байланысты функция, ал олар жабын материалына байланысты. Негізінен үш бұрышты фермалар үлкен ылдилау бұрышы ( $25^0 - 45^0$ ) керек материалдарды қолданғанда пайдаланылады, ал ол  $h \approx \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{2}\right) \cdot l$  сәйкес.

Үш бұрышты ферманың биіктігі ферманың ең аз массасына сәйкес биіктігінен артық, сол себепті металл шығыны бойынша бұл фермалар аса тиімсіз.

Ферманың ортасындағы биіктігін төменгі белдеуді көтеру арқылы азайтуға болады, тіреу түйіні аса сүйір болмауы керек.

**Трапеция тәрізді, белдеулері параллель фермалардың ұтымды биіктігін анықтау.** Егер конструктивтік шешім ферма биіктігін шектемесе, онда ферма биіктігі ферманың ең аз массасына сәйкес табылады, ол экономика жағынан ең тиімдісі болып саналады. Ферма салмағы – белдеулер мен торлар салмағынан тұрады. Ферманың биіктігі өскен сайын белдеулер салмағы азаяды, өйткені белдеулердегі ішкі күш биіктікке кері пропорционал шама

$$N_{\delta} = \frac{M}{h},$$

Тор салмағы ферма биіктігі өскен сайын арта түседі, өйткені, көлбеу тіреулер мен тік тіреулердің ұзындығы да үлкейеді. Сол себепті, ферманың ең ұтымды биіктігін, металл шығынын ең аз мөлшеріне сәйкес шамасын табуға болады. Белдеулер салмағы келесі формуламен табылады:

$$\zeta_{\delta} = 2 \sum \frac{N_{\delta} \cdot l_{\delta}}{R_y} \cdot \gamma \cdot \psi_{\delta}, \quad (194)$$

бұл жерде  $N_{\delta} = \frac{M}{h}$  - белдеудегі ішкі күш;

$R_y$  - болаттың есепті қарсыласуы;

$\frac{N_{\delta}}{R_y}$  - белдеудің көлденең қимасының ауданы;

$l_{\delta}$  - белдеу ұзындығы;

$\gamma$  - болаттың орташа тығыздығы;

$\psi_{\delta}$  - белдеудің конструктивтік коэффициенті.

Осыған сәйкес, тордағы көлбеу тіреудің салмағы да анықталады:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= \sum \frac{N_m}{R_y} \cdot l_m \cdot \gamma \cdot \psi_m = \sum \frac{\sigma}{\cos L \cdot R_y} \cdot l_m \cdot \gamma \cdot \psi_m = \\ &= \sum \frac{\sigma}{\cos^2 L \cdot R_y} \cdot h_m \cdot \gamma \cdot \psi_m, \end{aligned} \quad (195)$$

бұл жерде  $N_m = \frac{Q}{\cos L}$  көлбеу тіреудегі ішкі күш;

$l_m = \frac{h}{\cos L}$  - көлбеу тіреудің ұзындығы;

$L$  - көлбеу тіреудің конструктивтік коэффициенті.

Сонымен үшбұрышты торлы ферманың толық салмағы:

$$\varepsilon_{\phi} = 2 \sum \frac{M l_{\delta}}{h \cdot R_y} \cdot \gamma \cdot \psi_{\delta} + \sum \frac{\sigma}{\cos L \cdot R_y} \sum \gamma \cdot \psi_m, \quad (196)$$

бұл жерде  $\frac{1}{\cos L} = 1 + \operatorname{tg}^2 L = 1 + \left(\frac{l_n}{h}\right)^2$  екенін ескеріп (196) қойып өрнекті аламыз:

$$\varepsilon_{\phi} = 2 \sum \frac{M \cdot l_{\delta}}{R_y} + \gamma \cdot \psi_{\delta} + \sum \frac{Q}{R_y} \cdot \frac{l_{\delta}^2}{h} \cdot \gamma \cdot \psi_m + \sum \frac{Q}{R_y} \cdot h \cdot \gamma \cdot \psi_m, \quad (197)$$

$h$  бойынша туынды тауып, оны нөлге теңестірсек:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon_{\phi}}{\partial h} &= - \left[ 2 \sum \frac{M l_{\delta}}{R_y} + \gamma \cdot \psi_{\delta} + \sum \frac{Q \cdot l_{\delta}^2}{R_y} \cdot \gamma \cdot \psi_m \right] \cdot \frac{1}{h^2} + \\ &+ \sum \frac{Q}{R_y} \cdot \gamma \cdot \psi_m = 0 \end{aligned} \quad (198)$$

Осыдан ферманың ұтымды биіктігі келесі формуламен анықталады:

$$h_{\text{ұтым}} = l_{\delta} \sqrt{\frac{2 \sum \frac{M}{l_{\delta}} \cdot \psi_{\delta}}{\sum Q \cdot \psi_m}} = l_{\delta} \sqrt{\frac{2n \sum M}{l \cdot \sum Q \cdot \psi_m + 1}}, \quad (199)$$

$\lambda_\delta = \frac{\lambda}{n}$ ,  $\lambda$  - аралық,  $n$  - белдеу саны, ал

$\frac{2n \sum M}{\lambda} \cdot \psi_\delta / \sum Q \cdot \psi_m \approx 0,7$  ескерсек ферманың ұтымды биіктігі:

$$h_{\text{ұтым}} = l_\delta \sqrt{0,7n+1} = \frac{l}{n} \sqrt{0,7n+1}, \quad (200)$$

Ұтымды биіктіктің аралыққа қатынасы:

$$\frac{h_{\text{ұтым}}}{l} = \frac{1}{n} \sqrt{0,7n+1}, \quad (201)$$

Көлбеу торлы фермада:

$$\frac{h_{\text{ұтым}}}{l} = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{0,7n+1}{3}}, \quad (202)$$

Үшбұрышты қосымша тіреулі фермада:

$$\frac{h_{\text{ұтым}}}{l} = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{0,7n+1}{2}}, \quad (203)$$

Сонымен ферманың ұтымды биіктігі тор жүйесінің түріне байланысты, көлбеу тіреулі торлы ферманың салмағы үшбұрышты торлы фермаға қарағанда 40 % жеңіл, ал үшбұрышты қосымша тіректі жүйелі фермаға қарағанда 20 % жеңіл.

Формулалар бойынша анықталған ферманың есепті биіктігі  $\left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{s}\right) \cdot l$

жуық.

Іс жүзінде белдеуі параллель және соған жақын трапеция тәрізді фермалар биіктігі (203) формула бойынша табылған шамалардан кемдеу  $\left(\frac{1}{7} \div \frac{1}{9}\right) \cdot l$  аралығында қабылданады, жеңіл фермалар үшін аздауы, ауыр фермалар үшін көптеуі қабылданады. Ферманың биіктігінің ұтымды биіктігінің ауытқуы, тасымалдау, даярлау, монтаждау талаптарына байланысты. Ферма биіктігі тасымалдау шарты бойынша 3,85 м – ден артпауы қажет. Трапеция тәрізді фермалардың тіреудегі биіктігі – жоғарғы белдеу ылдилауы  $\left(\frac{1}{12} \div \frac{1}{8}\right) \cdot l$  аралығында болғанда  $\left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{15}\right) \cdot l$  аралығында болуы шарт.

**Ферма биіктігін қатаңдық шартына сәйкес анықтау.** Ферма биіктігінің ең аз шамасы иілу мөлшерінің рұқсат етілген шамасына байланысты анықталады. Кәдуілгі жабындарда ферма қатаңдығы – пайдалану шарты бойынша қойылатын талаптардан жоғары. Жылжымалы жүк әсер ететін конструкцияларды (ілінген жүк көтергіші бар стропилалық фермаларда, көпірлі кран асты фермаларда, кран асты эстакада фермаларында) қатаңдық талабы аса жоғары  $\left(\frac{f}{l} = \frac{1}{750} \div \frac{1}{1000}\right)$ , ол ферманың биіктігінің негізгі анықтағаны болып саналады. Кейбір кезде, алюминий қорытпаларын, беріктігі аса жоғары болат қолданылған фермалар биіктіктері қатаңдық талабына сәйкес анықталады.

Ферманың иілу мөлшері – аналиткалық жолмен Мор формуласын қолдана табуға болады.

$$f = \sum \frac{\overline{N}_i \cdot N_i}{E_i \cdot A_i} \cdot \lambda_i, \quad (204)$$

бұл жерде  $\overline{N}_i$  - бірлік күш әсер еткендегі ферма шыбықтарындағы ішкі күш;

$N_i$  - ферма шыбықтарындағы сыртқы әсер ететін күштер пайда болатын ішкі күш;

Графикалық тәсілмен Виллио диаграммасын салу арқылы.

Виллио диаграммасы – жоғарғы және төменгі белдеулердің иілу сызығын табу қажет болған кезде тұрғызылады. Формуланы қолданып ферманың ең кіші биіктігінің аралығына қатынасын табуға болады: бұл жерде жақша ішіндегі екінші мүше тордың әсерін ескеретін шама;  $\left[\frac{f}{l}\right]$  - иілу мөлшерінің аралыққа қатынасының шекті шамасы;

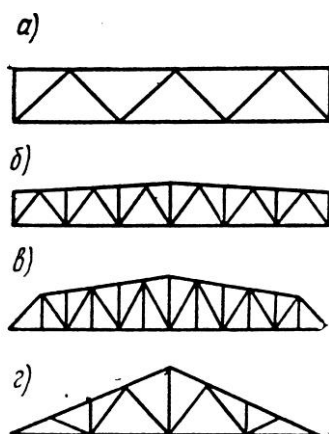
$$\sigma = \frac{p'' + q''}{p'' \cdot \gamma_{fp} + q'' \cdot \gamma_{fq}} \cdot R_y, \quad (205)$$

бұл жерде  $p''$ ,  $q''$  - тұрақты және уақытша жүктердің мөлшерлі шамалары;

$\gamma_{fp}$ ,  $\gamma_{fq}$  - жүктердің сенімділік коэффициенттері.

#### 4.2.3. Ферма торлар жүйелері және олардың сипаттамалары

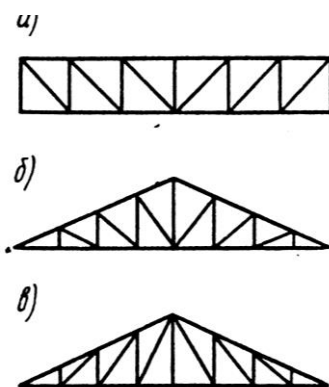
Ферма торы арқалық қабырғасының функциясын орындап, көлденең қиюшы күшті қабылдайды. Ферма тор жүйесіне оның салмағы даярлауға кеткен еңбек шығыны, сыртқы түріне байланысты. Сыртқы жүк жергілікті майысу болмас үшін түйіндерге берілетін болғандықтан, тор жүйесі әсер ететін сұлбасына сәйкес қабылданады.



Сурет 104. Үшбұрышты тор жүйелі

**Үшбұрышты тор жүйесі.** Трапеция тәрізді немесе белдеуі параллель фермалар үшін ең тиімдісі үшбұрышты тор жүйесі, өйткені ол ең аз түйін саны мен торлардың ең қысқа қосынды ұзындығына сәйкес, әрі әсер етіп тұрған күш тіреуге дейін ең қысқа жолмен беріледі (104 а сур.).

Жабын арқалықтары немесе төсеніш арқалықтары жиі орналасқанда, үшбұрышты торлы жүйеде қосымша тіреулер қойылады, олар түйін арақашықтықтарын да жақындатады. Қосымша тіреулер сығылатын белдеудің есепті ұзындығын азайтады. Қосымша тіреулер мен ілгіштер аса жеңіл, өйткені оларға тек жергілікті түйін күштері ғана әсер етеді. Үшбұрышты фермаларда да үшбұрышты тор жүйесі қолданылуы мүмкін. Үшбұрышты тор жүйесінің негізгі кемшілігі – ол ұзын сығылатын элементтердің бар болуы.

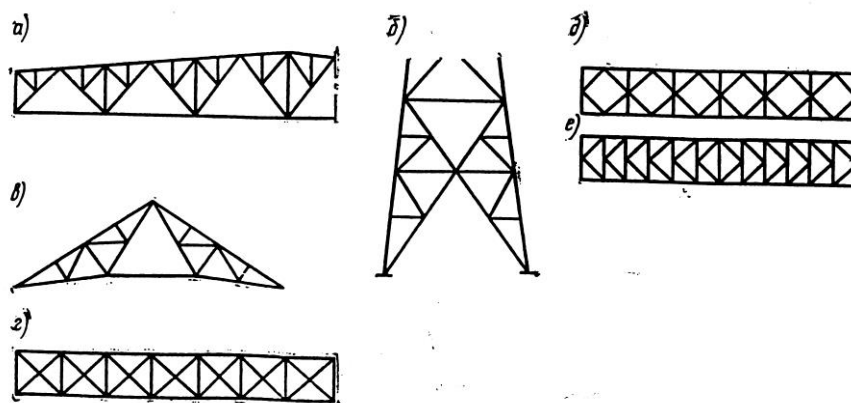


Сурет 105. Көлбеу тіреулі тор жүйелі

**Көлбеу тіреулі тор жүйесі.** Бұндай тор жүйелі фермаларды жобалағанда қысқа элементтері сығылуға, ал ұзын элементтері созылуға жұмыс істейтіндей етіп қабылдаған дұрыс. Бұл талап белдеулері параллель, трапеция тәрізді фермаларды көлбеу тіреу төмен қарай ылдиласа, үшбұрышты фермада жоғары қарай көтерілсе, онда олар созылуға, ал тіреулері сығылуға жұмыс істейді.



Үшбұрышты фермаларды жобалағанда бұл талап ылғида орындала бермейді, өйткені көлбеу тіреулер ұзындығы ұлғайып кетіп металл шығынын көбейтіп жіберуі мүмкін. Көлбеу тіреулі жүйелер ферма биіктігі аласа болғанда, үлкен күштер әсер еткенде тиімді. Көлбеу тіреулі жүйелі фермаларды даярлау көп еңбек шығынын талап етеді, өйткені белдеудегі түйін саны бірдей болғанда үшбұрышты тор жүйелі фермаларға қарағанда, көлбеу тіреулердің қосынды ұзындығы артып кетеді. Түйінге әсер ететін күш тіреуге ұзағырақ жолмен жетеді.



Сурет 106. Арнайы тор жүйелері

**Арнайы тор жүйелері.** Ферма биіктігі 4 – 5 метрге жеткенде, көлбеу тіреудің тиімді бұрышы  $35 - 45^{\circ}$  болғандықтан түйін аралығында белдеу ұзындығы аса үлкен болып, жабын элементтерін орналастыруға қиындық туғызады. Егер жабын қарысының қысымы аз болса, онда белдеуде жергілікті майыстыру жол беруге болады. Бірақтан қары қысымы үлкен болса, онда бұл шешім тиімді емес. Көлбеу тіреудің тиімді бұрышын сақтай отырып, жергілікті майыстыруды болдырмау үшін фермаларда шпренгельді жүйе қолданылады. Шпренгельді жүйелі фермаларды даярлау қиындау, кей кезде қосымша металл шығынын қажет етеді, сонымен қатар, көлденең конструкциялардың тиімді арақашықтықта орналасуына, сығылған элементтердің есепті ұзындығын азайтуға мүмкіндік береді. Мысалға шпренгельді жүйе мұнара белдеулерінің есепті ұзындықтарын қысқартып жалпы конструкция салмағын азайтады.

Стропилалық фермаларда шпренгельді жүйелер жабын элементтерінің тиімді арақашықтығын сақтап темір бетон төсеніштері қойылатын қосымша түйін құрайды. Шпренгельді жүйе үшбұрышты ферма үшін басқа бір ерекше түр береді. Бұл ферма тартпамен біріктірілген екі бөліктен тұрады. Түйіндерінің конструкциялары оңайланады, тартпаның жоғары қойылуы бөлменің пайдалы биіктігін көбейтеді. Ферма зауытта даярлаған үш бөліктен тұрады, сөйтіп құрылыс алаңында жиналады.

Екі жақты жүк әсер ететін фермаларда крест тәрізді торлар қолданылады. Бұндай фермаларға өндірістік ғимарат жабындарындағы байланыстар дінгек пен мұнараның тік фермалары, биік ғимарат

қаңқаларының байланыстары жатады. Көбінде ферма торлары иілгіш етіп жобаланады, сол себепті сығылған шыбықтары өз орнықтылықтарын жоғалып, тек созылған шыбықтар жұмыс істейді. Белдеуі таврдан жасалған фермаларда торлары бір бұрыштан крест тәрізді орналастырылып жасалынады. Бұндай фермалар металл шығыны бойынша тиімді.

Ромбалық және жартылай ромбалық тор жүйелері өте қатаң, сондықтан көпірлерде, мұнараларда, дінгектерде шыбықтардың есепті ұзындықтарын азайту үшін және өте үлкен көлденең қиюшы күш әсер ететін кездерде қолданылады.

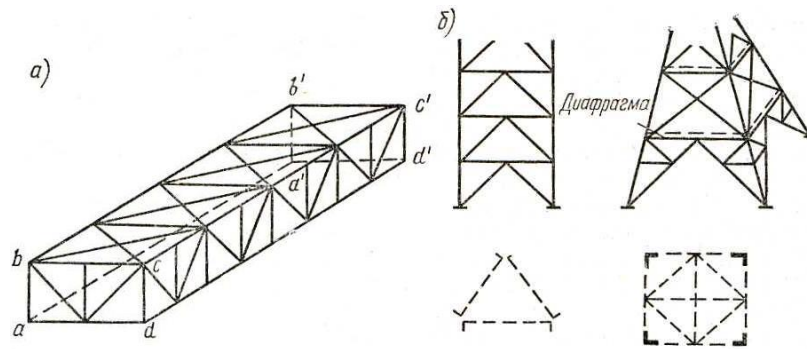
#### 4.2.4. Ферма түйін белдеулері

Тор жүйелері таңдалу кезеңінде түйін белдеулерінің өлшемдері де анықталады. Сыртқы жүк ферма түйіндерінде әсер ететін болғандықтан, жабын конструкция элементтерінің өлшемдеріне түйін белдеу өлшемдері сәйкес болуға тиіс. Түйін белдеу өлшемдері – көлбеу тіреулердің тиімді бұрыштарын қамтамасыз етуі керек. Тиімді бұрыш шамалары үшбұрышты торлы жүйеде  $45^{\circ}$ , ал көлбеу тіреулі торлы жүйеде  $35^{\circ}$ . Түйін қаңылтырларының сұлбасы дұрыс болуы үшін көлбеу тіреулерді жақсы бекіту үшін конструктивтік талап бойынша тиімді бұрыш  $45^{\circ}$  тең болғаны дұрыс. Стропилалық фермаларда түйін белдеу өлшемдері жабын конструкциялар жүйелеріне байланысты. Егер стропилалық фермаларға қарылар қойылатын болса, оларға қойылатын төсеніш түрлеріне байланысты түйін белдеу ұзындығы 1,5 – 4,0 метрге дейін болуы мүмкін. Стропилалық фермаға профильденген болат төсенішпен темір бетон төсеніштері қойылса, олардың ендері – 1,5 – 3 м, ал ұзындықтары – 6 – 12 м, түйін белдеу ұзындықтары олардың ендеріне тең болуы шарт. Кей кездерде жоғарғы белдеу жергілікті иілуге жұмыс істеуі мүмкін.

#### 4.2.5. Фермалар орнықтылығы. Байланыстар

Торлы жазық жүйелер (фермалар) өз жазықтықтығынан тыс жазықтықта өз орнықтылықтарын жеңіл жоғалтуы мүмкін. Фермалардың орнықтылықтарын қамтамасыз ету үшін оларды бір қатаң конструкцияларға бекіту керек, немесе басқа фермалармен байланыстар арқылы біріктіру керек, сол кезде кеңістікте орнықты қатаң брус пайда болады. Бұндай брустың барлық жақтары өз жазықтықтарында геометриялық өзгермейтін болуы керек.

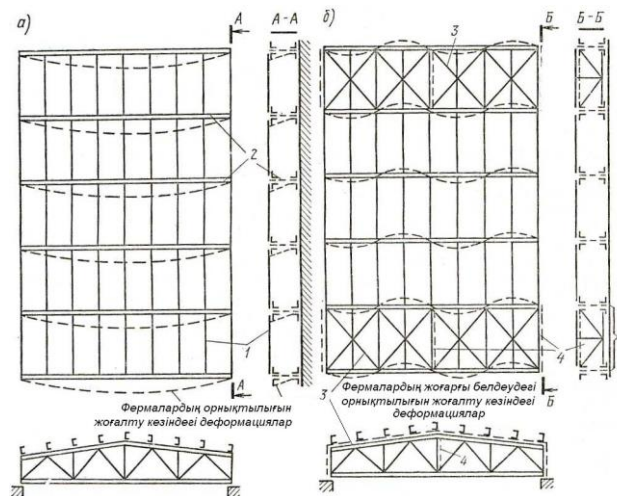
Брустың екі жазықтығы фермалардың ( $abb^1a^1$  және  $dcc^1d^1$ ) оларға көлденең жазықтық байланыстардан ( $cbb^1c^1$  және  $daa^1d^1$ ) және фермалар шеттеріне қойылған байланыстардан тұрады ( $abcd$  және  $a^1b^1c^1d^1$ ). Бұл кеңістіктегі брус көлденең қимасы кең және жабық, сондықтан иілуге, бұралуға өте үлкен қатаңдығы бар, сол себепті оның жалпы орнықтылығы жоғары. Көпірлердің, мұнаралы крандардың, дінгектердің т.б. конструкциялары кеңістіктегі брустар (107 сур.).



Сурет 107. Фермаларды кеңістік жүйелеріне байланыстыру

Ғимарат жабындары көптеген жекеленген фермалардан тұрады. Бұндай фермалар қарылар мен темірбетон плиталармен біріктірілсе де, өз жазықтығынан тыс жазықтықта еркін ұзындығы аралыққа тең, сондықтан өз орнықтылықтарын оңай жоғалтады (108 сур.). Бұл жағдайларда жабын құрамында бірнеше қатаң брус-тар құрап қалған фермаларды соларға көлденең элементтермен бекітіледі. Қарылар ферма қатандықтарын қамтамасыз етуі үшін олар ферма түйіндеріне бекітіледі.

Ферма геометриялық сұлбаларын ыңғайландыру арқылы ферма детальдарын стандарттап, оларды еңбек өнімділігі жоғары станоктар мен жабдықтарда даярланады.



Сурет 108. Фермалардың орнықтылығын қамтамасыз ететін байланыстар.  
1-қарылар; 2-фермалар; 3-көлденең байланыстар; 4-тік байланыстар;  
5-кеңістік блогы

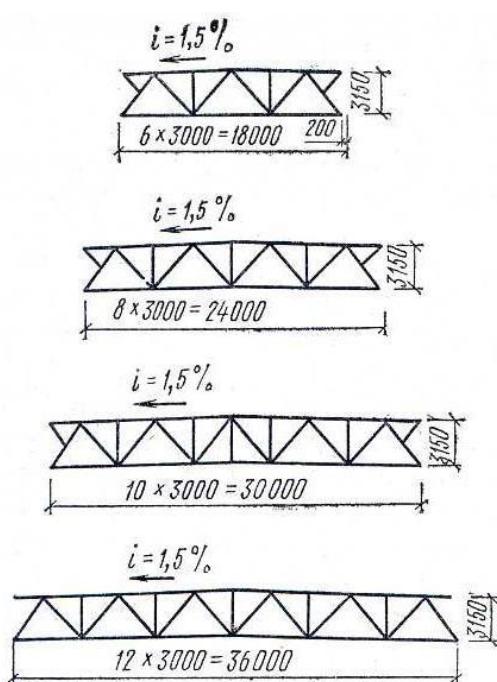
#### 4.2.6. Ферманың геометриялық өлшемдерін модульдеу және ыңғайландыру

Ферма өлшемдерін бірыңғайлау, олардың өлшемдерінің, оларға бекітілетін элементтердің түрлерін азайтып, стандарттауға мүмкіндік береді. Бірыңғайлау конструктивтік – жинақтау өлшемдерін модульдеу

негізінде жүргізіледі. Ферманы бірыңғайлау құрылым түрлеріне сәйкес жасалынады.

Қазіргі кезде өндірістік ғимараттың стропилалық фермалары, көпірлері, радиодіңгектері, радиомұнаралары, электр жүйелерінің геометриялық сұлбалары бірыңғайландырылған (109 сур.).

Стропилалық фермалардың түйін белдеу ұзындықтары  $m = 3000$  мм, рулонды жабынның ылдилауы  $i = 1,5\%$ , ферманың тіреу түйініндегі биіктігі 3150 мм, үшбұрышты торлы жүйелерде шпренгель қолдану арқылы түйін белдеу ұзындығын 1500 мм-ге тең етіп қабылдауға болады. Кіші аралықты фермаларға ортаңғы бөлікті қосу арқылы үлкен аралықты фермаларды алуға болады.



Сурет 109. Фермаларды бірыңғайландыру схемасы

#### 4.2.7. Құрылыстық көтеру

Аралығы үлкен фермаларда (36м артық) және алюминий қорытпаларынан беріктігі аса жоғары болаттан жасаған үлкен болып, рұқсат етілген шамадан артып кетуі, сөйтіп конструкциялардың сыртқы түрін нашарлатуы мүмкін.

Ферманың қатты иілуін ферманы кері иіп, жүк әсерінен жобалық жағдайға келуін қамтамасыз етеді. Кері иілу шамасы тұрақты жүктен ферманың иілуіне тең етіп қабылданады. Төбесі жазық жабындарды құрылыстың көтеру шамасы – аралыққа қарамай, барлық жүктен иілу мөлшеріне аралықтың  $\frac{1}{200}$  бөлімін қосып анықталады. Құрылыстың

көтеру сызығын ферманы даярлау кезде әр шыбық ұзындығын серпімді деформацияны ескере анықтайды.

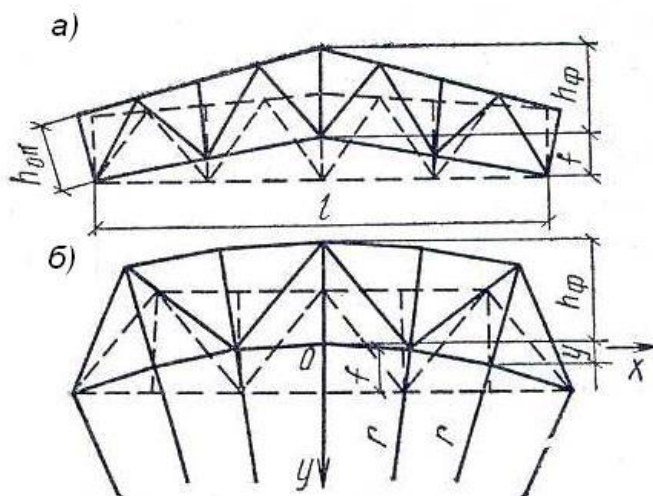
$$l_{\Delta} = l + \Delta l = l \left( 1 + \frac{\sigma}{E} \right), \quad (206)$$

бұл жерде:  $l$  – геометриялық сұлбадағы шыбық ұзындығы;

$\Delta l = \frac{\sigma \cdot l}{E}$  – құрылыс көтеруді анықтау кезіндегі жүк әсерінен шыбықтың ұзаруы немесе қысқаруы.

Созылатын шыбықтан  $\Delta l$  алынып, ал сығылатын шыбықтар қосылады. Жүк әсер еткен кезде созылатын шыбықтар ұзарып, сығылатын шыбықтар қысқарып, ферма геометриялық сұлбасы өз орнына келеді. Іс жүзінде құрылыстың көтеру оңтайландырылған қысым бойынша жүргізіп иілуді монтажда түйінінде жасайды.

Егер де стропилалық ферманың бір монтаждау түйіні болса, онда құрылыстық көтеру үшбұрышы бойынша беріледі (110 сур.).



Сурет 110. Құрылыстық көтеру схемалары.  
а – жеңіл фермаларда; б – ауыр фермаларда

### 4.3. Ферманың жұмыс істеуі және есептелуі

#### 4.3.1. Есепті жүкті анықтау

Фермаға көлденең конструкция элементтері түйіндерде бекітілетін болғандықтан жүк түйіндер арқылы беріледі. Егер жүк белдеуге әсер ететін болса, онда жақын жатқан түйіндерге бөлінеді және де белдеудегі иілу моменті де ескеріледі. Түйіндерге момент аралықтағы моменті 1,2 көбейту арқылы табылады.

Әр жүктің әсерін жеке қарастырып, олардан пайда болған ферма шыбықтарындағы ішкі күштерді табу ыңғайлы. Стропилалық фермада келесі жүктердің есепті сұлбасы жеке қарастырылады: тұрақты жүк, оған ферманың өз және көтеріп тұрған конструкциялар салмақтары (жылу қабаты, жабын, күнтартар) жатады: уақытша жүк - ілінген жүк көтеретін – тасымалдайтын жабдықтар, пайдалы жүктер, фермаға ілінген төбе жапқыштар салмақтары жатады.

Аз уақытта әсер ететін, атмосфералық жүктер – қар, жел. Тұрақты, уақытша және қар жүктері жүктердің негізгі үйлесіміне жатады, оларға есептеу жүктер бойынша сенімділік коэффициенттерін ескере жүргізіледі, жел жүгі стропилалық фермалар үшін жүктердің ерекше үйлесімдеріне жатады.

Стропилалық ферма түйініне әсер ететін тұрақты жүк келесі формуламен анықталады.

$$F_T = g_{op} + \frac{g_{жс}}{\cos\alpha} \cdot B \cdot \frac{d_1 + d_2}{2}, \quad (207)$$

бұл жерде:  $g_{op}$  - ферманың жабынның горизонталь проекциясына әсер ететін есепті салмағы;

$g_{жс}$  - жабынның есепті салмағы;

$B$  - фермалардың ара қашықтығы;

$d_1$  және  $d_2$  - түйінде жалғасатын белдеулердің ұзындықтары;

$\cos\alpha$  - жоғарғы белдеулердің горизонтпен құрайтын бұрышы.

Кейбір кезде (213) формуламен табылған жүкке күнтартар салмағы қосылады.

Қар – уақытша жүк: ферманы кейде жартылай жүктейді. Қар жүгі келесі формуламен анықталады.

$$F_i^H = S \cdot B \frac{d_1 + d_2}{2}, \quad (208)$$

бұл жерде:  $S$  - қардың есепті жүгі. Жел қысымы тек жік жазықтықта ескеріледі, және конструкция көлбеулігі  $30^\circ$  артса ескеріледі, олар мұнаралар, дінгектер, эстакадалар, үш бұрышты фермалар және күнтартарлар. Жел әсерлері түйіндік жүктерге келтіріледі.

#### 4.3.2. Ферма шыбықтарындағы ішкі күштерді анықтау

Бұрыштан, таврдан жасалған фермалар идалды топсалы болып есептеледі, өйткені шыбық осьтері түзу сызықты бір жазықтықта орналасқан және бір түйінде қиылысады. Бұл жүйенің шыбықтарында тек өстік күштер пайда болады. Осы күштерден табылған кернеулер негізгі

болып саналады. Түйінде қатаңдық бар болғандықтан ферма шыбықтарында қосымша кернеулер пайда болады, егер қима енінің шыбық ұзындығына қатынасы  $\frac{1}{15}$  кіші болса, онда олар конструкциялардың көтеру мүмкіндігіне әсер ете қоймайды. Қатандығы жоғары төмен температурада пайдаланылатын кезде, олардың әсері күштірек. Сол себепті, топсалы сұлба қоставрлы құбырлы,  $H$  – тәрізді қимасы шыбықтарда, қима биіктігінің шыбық ұзындығына қатынасы  $\frac{1}{10}$  кем болғанда, есепті температура —  $10^\circ$  с артқанда,  $\frac{1}{15}$  кем болғанда есепте температура —  $40^\circ$  кем болғанда қабылданады.

Көрсетілген шамалардан ауытқыған кезде түйінде пайда болатын иілу моментін ескеру қажет. Қарысыз шешім қабылданғанда жоғарғы белдеудегі моменттер келесі формулалармен анықталады:

Шеткі белдеудегі момент:

$$M_w = q \cdot \frac{l_o^2}{10}, \quad (209)$$

Ортаңғы белдеудегі момент:

$$M_o = q \cdot \frac{l_o^2}{12}, \quad (210)$$

Түйіндегі момент:

$$M_m = q \cdot \frac{l_o^2}{18}, \quad (211)$$

бұл жерде:  $q$  - бір қалыпты жайылған жүк;

$l_o$  – түйін белдеуінің ұзындығы.

Ферма шыбықтары түйінде толық центрленбегендіктен иілу моменттері пайда болады. Бұл кернеу негізгі кернеу болмағандықтан есептеу кезінде ескерілмейді, өйткені фермадағы эксцентритет ферманың көтеру мүмкіндігіне көп әсер ете қоймайды. Ферма шыбық осьтерінің ауытқуы қима биіктігінің 1,5 % - нан артпайды.

Мүмкіндігі болғанша ферма шыбықтарындағы ішкі күштер ЭЕМ жүргізілуі қажет. ЭЕМ статикалық және динамикалық жүк әсерлерін өс ауытқуларына байланысты ішкі күштердің өзгеруін ескере ферманың кез – келген сұлбасын есептеуге болады.

ЭЕМ шыбықтарындағы есепті ішкі күштерді жүктердің үйлесімдерін ескере табуға мүмкіндік береді.

ЭЕМ жоқ кезде ферма элементтеріндегі ішкі күштер Максвелл-Кремон диаграммасын салу арқылы жүргізіледі.

Сұлбасы күрделі емес, шыбықтары өс фермаларда ішкі күштер аналитикалық жолмен анықталады. Фермаға жылжымалы жүк әсер еткенде шыбықтарындағы ішкі күштер әсер сызығын тұрғызу арқылы жүргізіледі.

Есептеу үшін ферма шыбықтарында жүктердің үйлесімін ескере есепті күштер кестесі құралады.

### **4.3.3. Ферманың жүктегендегі жұмыс істеу ерекшеліктері**

Жеке тұрған ферманың көптеген сынақтар жүргізгенде шыбықтардағы серпімділік сатыдағы кернеулер теориялық шамалардан жеңіл фермаларда 10% - аз, ал ауыр фермаларда 18% - аз. Бұл – ферманың есепті сұлбаға қарағандағы басқаша жұмыс істеуі. Ферманың серпімділік сатыда жұмыс істеу ертерек тоқталады. Мысалға, тойтарма шегелі фермаларда кернеу 50 – 80МПа жеткенде серпімділік сатыдан өтіп серпімділік – созылымдылық сатыға жетеді. Пісірілген фермаларда кернеу 100 – 150МПа жеткенде серпімділік созылымдылық сатыға жетеді. Эксцентрицитет әсерлері және түйін қатаңдықтары кернеулерді көбейтіп серпімділік – созылымдылық сатыға өтуді жеделдетеді. Түйіндерде созылымдылық деформациялардың пайда болуы түйін қатаңдығын азайтып, оған байланысты кернеуді кішірейтеді, сондықтан ол қауіпті емес.

Екінші жүктеу гистерезис тұзағын құрап, серпімділік сатыдағы жұмыс істеуін арттырады. Егер шыбық орнықтылықтары қамтамасыз етілсе, онда олардағы кернеу ферманың қирауына дейін өседі қирау жапсарлас пісіру жігінің басынан, шыбықтың түйін қаңылтырына бекітілген жерінен, яғни кернеу шоғырланған жерлерде басталады.

Негізінен ферманың қирауы сығылған шыбықтарының орнықтылықтарын жоғалтуларына байланысты. Орнықтыларының жоғалуы ешбір көрінетін белгісіз басталады, көбіне қай шыбықтың орнықтылығы жоғалатынын алдын-ала айту мүмкін емес, өте үлкен кернеу пайда болмағанына қарамастан, көбінде ортаңғы сығылатын түйін белдеулері орнықтылықтарын жоғалтады. Соған қарағанда орнықтылықты жоғалту тек кернеу шамаларына ғана емес, оған қоса геометриялық ауытқуына, физикалық жетіспеушіліктеріне және бастапқы майысуына байланысты. Бұл майысулар дұрыс тасымағандықтан немесе даярлау кезінде ақау жіберілгендіктен олар ортаңғы иілгіш элементтер үшін аса маңызды. Сол себепті ортаңғы сығылатын элементтерді майысудан сақтау аса қажет.



Бастапқы эксцентрицитеттер мен шыбықтардың майысу мүмкіндіктерінің әсерлері ҚНЖЕ талаптарына сәйкес жұмыс шарты коэффициенті егер шыбық иілгіштігі 60 артса, онда  $\gamma_c = 0,8$  тең.

Пісірілген ферманың дірілдейтін жүктер әсер еткендегі қирауы шыбықтардың түйін қаңылтырларына бекітілген, кернеу шоғырланған жерінен басталады. Түйін қаңылтыр сұлбасын дұрыс қабылдамаған кезде дірілдеген кездегі беріктік өте төмен (80 – 100МПа) аздау болып және аз цикл санында қарауы мүмкін.

Дірілдеген кездегі ферма беріктігін келесі жолдармен жоғалтуға болады: шыбықтың түйін қаңылтырына жалғасуы тез өзгертін сұлбасыз жүргізуі арқылы;

Көлбеу пісіру жігін қолдану, өңделген жерді тазалау арқылы кернеудің шоғырлануын азайту т.б.

Ферманың морт қирау қаупі – 40° С төмен ортада қолдану кезінде артады. Бұл жағдайда түйін қатаңдығына байланысты пайда болатын кернеулерге қойылатын талаптар күшейеді, белдеулердің жалғасулары түйін шекарасынан шығара орналастыру ұсынылады.

#### **4.4. Сығылған шыбықтардың есепті ұзындықтары және шекті иілгіштіктері**

##### **4.4.1. Сызылған шыбықтардың есепті ұзындықтарын анықтау**

Орнықтылығын жоғалтар кезде сығылған шыбықтар дүмпііп түйін орталықтарына қарағанда айналып және түйін қатаң болғандықтан басқа түйін шыбықтарын айландырып майыстырады.

Түйінде бекітілген шыбықтар орнықтылығын жоғалтқан шыбықтың иілуіне түйіннің бұралуына қарсыласады. Түйіннің бұралуына, иілу түйін арақашықты қатарын азайтатын болғандықтан, созылатын шыбықтар көбірек қарсыласады. Сығылған шыбықтар нашарлау қарсыласады, өйткені, олардағы осьтік күш, бұралғандағы деформация бағытына сәйкес, тағы да олардың өзі де орнықтылықтарын жоғалтулары мүмкін.

Сонымен түйінде созылатын шыбықтар саны көбейген сайын сығылатын шыбықтар қаттырақ, қатаңырақ болады, олардың есепті ұзындықтары геометриялық ұзындықтарынан кіші болады.

Сығылған шыбықтың түйінінде бекітілуі келесі формула бойынша анықталады.

$$\tau = r / \sum r_p \quad (212)$$

бұл жерде:  $r = \frac{J}{l}$  – қарастырылып отырған шыбықтың ферма жазығындағы бірлік ұзындығындағы инерция моменті;

$\sum r_p$  – қарастырылып отырған шыбықпен екі түйінде бірігетін созылатын шыбықтардың бірлік ұзындықтарындағы инерция момент-терінің қосындысы.

$\tau$  - кіші болған сайын шыбықтың бекітілуі қатаңырақ, есепті ұзындығы азырақ .

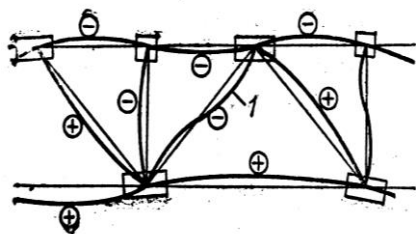
Сонымен сығылған ферма шыбығының есепті ұзындығы келесі формуламен анықталады.

$$l_0 = \mu \cdot l, \quad (213)$$

бұл жерде:  $\mu$  - есепті ұзындыққа келтіретін, бекіту қатандығына байланысты алынатын коэффициент,  $l$  - геометриялық ұзындығы. Сығылған белдеу түйінде қатаң бекітілмейді, өйткені оған созылатын бір шыбық бірігеді, ал оның қатандығы белдеу элементтеріне қарағанда өте аз, сондықтан сығылған белдеудің бекітілуін ескермей есепті ұзындығын геометриялық ұзындығына тең қабылдауға болады.

Созылатын белдеуде бірігетін сығылған шыбықтар үшін  $\tau = 0,5$ , ал  $\mu = 0,77$  тең.

ҚН мен Ережелері бойынша тордың сығылатын элементтері үшін ферма жазықтығындағы есепті ұзындыққа келтіретін коэффициенті  $\mu = 0,8$  тең. Тіреудегі көлбеу тіреу ұзындығын тапқанда -  $\mu = 1$ .



Сурет 111. Сығылған шыбықтың орнықтылығы жоғалған кездегі шыбықтың деформациялану схемасы

Сығылған белдеу шыбық-тарынын ферма жазықтығынан тыс жазықтығы ұзындығы ферманың жазықтықтан тыс жазықтықтағы бекітілген түйін арақашықтықтарына тең етіп қабылданады. Темірбетон жабындар пайдаланылғанда стропилалық фермалар түйін сайын қатаң жабындармен бекітілетін болғандықтан белдеудің есепті ұзындықтары жабынның еніне тең етіп қабылданады.

Құбырлы қималы фермалар үшін көлбеу тіреулердің есепті ұзындықтары  $0,9l$ , тең, қалған жағдайлар ҚР ҚНЖЕ 5.04.23-2002 берілген.

#### 4.4.2. Шекті иілгіштіктер

Конструкция элементтері қатаң шыбықтардан жобалануға тиіс. Көбінде бойлық иілгенде орнықтылығын жоғалтатын сығылған шыбықтар

иілгіштігі  $\lambda = \frac{l_0}{r}$  үшін оның мәнісі өте зор.

Өте зор күш әсер еткен кездің өзінде сығылған шыбықтың иілгіштігі аса үлкен болмауы тиіс. Өте иілгіш шыбықтар кездейсоқ әсерден, өз салмағынан майысып керек емес эксцентрициттер пайда болады да, динамикалық жүк әсер еткенде дірілдеп кетеді, сол себепті сығылған шыбықтар үшін ең үлкен иілгіштік мөлшерлі шамадан аспауы қажет.

Құрылыс нормалары және ережелері бойынша шектік иілгіштік шыбықтардың түріне байланысты қарастырылған.

|  | Болат                 | Алюмин қорытпалары    |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Сығылған белдеулер, тірек жүгін қабылдайтын тік тіреулер мен көлбеу тіреулер | $\lambda_{кел} = 120$ | $\lambda_{кел} = 100$ |
| Басқа сығылған шыбықтар  | $\lambda_{кел} = 150$ | $\lambda_{кел} = 120$ |
| Байланыстардың сығылған шыбықтары  | $\lambda_{кел} = 200$ | $\lambda_{кел} = 150$ |

Созылған шыбықтар да аса иілгіш болмауы керек, өйткені тасымалдау, монтаждау кездерінде олар майысуы мүмкін.

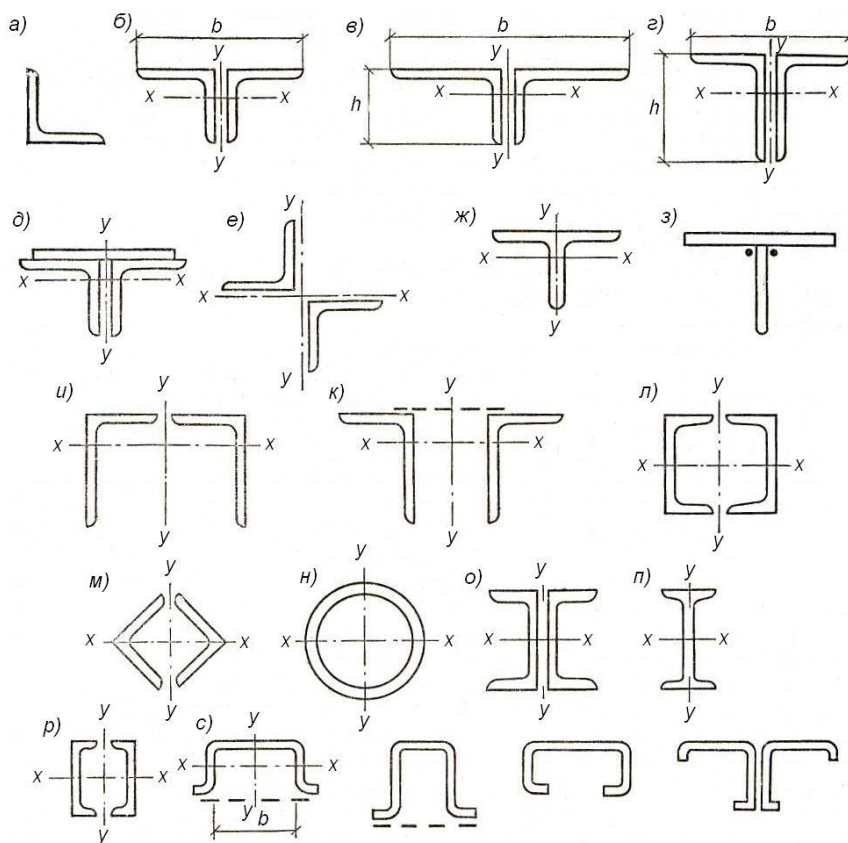
Динамикалық жүк әсер ететін конструкциялар үшін қажетті қатандық қажеттірек (шыбықтардың дірілдеуі үшін). ҚНЖЕ динамикалық жүк әсер ететін шыбықтары үшін шектік иілгіштер шамалары қарастырылған.

|   | Болат                 | Алюмин қорытпалары    |
|---|-----------------------|-----------------------|
| Созылған белдеулер мен тірек көлбеу тіреулері | $\lambda_{кел} = 250$ | $\lambda_{кел} = 200$ |
| Басқа созылған шыбықтар                       | $\lambda_{кел} = 350$ | $\lambda_{кел} = 300$ |
| Байланыстардың созылған шыбықтары             | $\lambda_{кел} = 400$ | $\lambda_{кел} = 300$ |

Динамикалық жүк әсер етпейтін конструкциялардың созылатын элементтері үшін шектік иілгіштік болат шыбықтар үшін – 400, ал алюмин қорытпалары шыбықтары үшін 300.

#### 4.5. Ферма шыбықтарының қима түрлері

Жеңіл фермалар шыбықтары негізінен қос бұрышты қималы болып жобаланып келеді (112 сур).



Сурет 112. Жеңіл фермалар қималарының түрлері

Бұндай қималар басқа конструкцияларды бекітуге, ұстындармен жалғастыруға, түйін қаңылтырлы фермаларды конструкциялауда тиімді, және қима ауданы өзгеру ауқымы кеңірек. Бұл конструкциялардың негізгі кемшілігі – қолданылатын элементтерінің түрлерінің көптігі, түйін қаңылтырына, жолақ қаңылтырларға металдың қосымша шығыны, даярлауға керекті көп еңбек шығыны. Тавр тәрізді қойылған қос бұрыш сығылуға жұмыс істеуі нашар.

Сортаменттің дамуы – кең белдеулі қостаवर, пісірілген құбыр, жабық майыстырылған қималар және қостаवरды екі бөліп тавр алу мүмкіндігі қос бұрышты қима орнына жеке профильден тұратын қималы фермаларды пайдалануды арттырды.

Бұл конструкцияның жана сұлбасының даярлануы оңай, өйткені қолданылатын детальдар саны екі есеге азаяды, қималары сығылуға жақсы жұмыс істейді. Жеке профильден тұратын шыбықтарды қайта-қайта қарап сырлап тұруға мүмкіндік бар, сөйтіп пайдалану уақыты артады. Жаңа конструктивтік сұлба профильдердің түрлері шектеулі болғандықтан, әлі де қос бұрышты қималы фермалар іс жүзінде қолданылды.

Кеңістіктегі фермалар (мұнаралар, дінгектер, кран жебесі т.б.) белдеулері перпендикуляр фермалардан тұратын болғандықтан ең оңай қима жеке бұрыш (112 сур.). Крест тәрізді екі бұрышты қима мұнара мен дінгектердің белдеуіндегі бір бұрыш ауданы жеткіліксіз болғанда

қолданылады. Жеке бұрыштар ферманың азырақ жүктелген шыбықтары үшін қолданылады. Стропилалық ферма шыбықтары бір бұрышты болған шешімдер металл мен еңбек шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Бұндай фермалардың шыбықтары өз өсінде симметриясы жоқ екенін ескеруі қажет. Асимметрияны азайту үшін тор элементтері белдеуге іш жағынан бекітіледі. Бірден бір бұл шешім – белдеудің айланып кету мүмкіндігін тыс жазықтықта фермалар байланыстармен күшейтілуге тиіс.

Сығылған шыбықтар үшін қос бұрышты қима есепті ұзындықтары бірдей және әртүрлі болса да екі жазықтықта да бірдей орнықты түрін табуға мүмкіндік береді.

Қима қатандығы оның геометриялық өлшемдеріне пропорционал инерция радиусымен сипатталады және қос бұрыш тавр секілді қойылған да олар –  $r_x \approx 0,3 \cdot h$  және  $r_y = 0,2 \cdot b$  тең (112, б – с сур.).

Егерде ферма шыбықтарының екі жазықтығы да есепті ұзындықтары бірдей болса, онда бірдей орнықтылықты қамтамасыз ету үшін  $r_y = r_x$  тең болуы шарт. Бұл үшін қабырғалары тең емес бұрыштарды үлкен қабырғаларымен біріктіріп тавр ретінде қою қажет (112, з сур.).

Кіші қабырғаларымен бірге тавр ретінде қойылған қима ферма жазықтығындағы ұзындық тыс жазықтықтағы ұзындығынан екі есе кіші болғанда қолданылады. Бұндай қимада  $b \approx 3h$ , сондықтан  $r_y = 0,2 \cdot b = 0,6 \cdot h = 2r_x$ , 2 сөйтіп ферма жазықтығынан тыс жазықтықтағы қатандығы өз жазықтығына қарағанда екі есе артық.

Қабырғалары тең тавр тәрізді қойылған бұрыштар шыбық қималарында көп қолданылады. Бұл қима есепті ұзындықтары бірдей емес шыбықтар үшін тиімді, өйткені  $r_y = 0,2 \cdot b = 0,4 \cdot h = 1,33r_x$ .

Қазіргі кезде құбырлы қималы көбірек қолданылып жүр. Құбыр қабырғасының қалыңдығын  $\left(\frac{1}{45} - \frac{1}{50}\right)d$  кем қабылдауға болмайды. Құбырлы қималар мұнараларда, дінгектерде, ашық эстакадаларда, крандарда қолданылады. Бұл қималардың артықшылығы олардың жел арынына аз қарсыласуы.

Белдеулері қоставрлы кесіп алынған таврлар, ал торы бұрыштардан жасалған фермалар жеңіл, сондықтан тиімді.

Майысқан қаңылтырдан жасаған фермалар жеңіл, өндірісте қолданылып жүр.

## 4.6. Жеңіл фермалар шыбықтарының қимасын таңдау

### 4.6.1. Жалпы ұсыныстар

Даярлауды оңайлату үшін жеңіл фермалар шыбықтарына 4-6 сортамент калибрін қабылдайды. Керекті профиль түрлерін табу үшін алдын – ала қима аудандары алдын – ала анықталады.

Екі бұрыштан тұратын қима бүтін қима ретінде есептеледі, сөйтіп олардың бірге жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін жолақ қаңылтырлармен біріктіріледі.

Монтаждау, тасымалдау кезінде қатандықты қамтамасыз ету үшін қабырғасы 50мм артығырақ бұрыштар қабылданады.

Белдеуде өте үлкен ішкі күштер пайда болатын болса, онда белдеу үшін беріктігі жоғары, ал тор үшін көміртекті болаттар қолданылады.

Аралығы 30м азырақ жеңіл фермаларды оңай даярлау үшін белдеулерін тұрақты қималы етіп жобалау қажет.

#### 4.6.2. Сығылған шыбықтардың қимасын таңдау

Сығылған шыбықтардың ауданы келесі формуламен табылады:

$$A_{kep} = \frac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (214)$$

бұл жерде:  $\varphi$  – бойлық иілу коэффициенті ол иілгіштікке байланысты, ал иілгіштік  $\lambda = l_0/r$ , бұл жерде  $l_0$  – шыбықтың есепті ұзындығы;  $r = \sqrt{\frac{J}{A}}$  – қиманың инерция радиусы. Бұл параметрлер иілгіштігіне байланысты, алдын – ала қабылданады. Қабылданған иілгіштікке сәйкес  $\varphi$  табылып (214) формуламен  $A_{kep}$  – анықталады.

Жеңіл фермалардың белдеулері үшін  $\lambda = 80 \div 60$ , ал тор үшін  $\lambda = 120 \div 100$ .

Иілгіштік қабылданған соң қиманың инерция радиустары келесі формулалармен анықталады:

$$\begin{aligned} r_{x.kep} &= \frac{l_{0x}}{\lambda}, \\ r_{y.kep} &= \frac{l_{0y}}{\lambda}, \end{aligned} \quad (215)$$

Керекті аудан, керекті инерция радиустарына сәйкес сортамент бойынша профильдің нөмірі анықталады. Профиль нөмірі белгілі болған соң қима ауданы, инерция радиустары, иілгіштер,  $\varphi$  және кернеу тексеріледі. Жалпы қима таңдау келесі блок – сұлба бойынша жүргізілсе дұрыс болар еді.

$$\lambda_k \leq [\lambda]$$

$$A_{kep} = \frac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} \rightarrow$$

Сортамент нөмірі

$$r_{x.kер} = \frac{l_{0x}}{\lambda}$$

$$r_{y.kер} = \frac{l_{0y}}{\lambda}$$

$$A, r_x, r_y, \lambda_x, \lambda_y, \lambda_{max} \rightarrow \lambda_{max} \approx [\lambda] \rightarrow \delta = \frac{N}{\varphi_{min} A} \leq R_y \gamma_e$$

Жоғарыда көрсетілген алгоритм бойынша қима таңдау ең дұрыс жол болып есептеледі.

**Мысал.** Ферма шыбығына әсер ететін ішкі күш – 752,12 кН. Болаттың есепті қарсыласуы  $R_y = 240$  МПа.  $l_x = l_y = 350$  см;  $[\lambda] = 120$ ,  $\lambda_k = 85$ ;  $\varphi = 0,649$ ;

$$A_{кер} = \frac{752,12}{0,649 \cdot 24} = 48,27 \text{ см}^2 \text{ қабылдаймыз } 2L 160 \times 100 \times 10; A_I = 25,28 \text{ см}^2;$$

$$r_y = 4,2 \text{ см}; \sigma = \frac{752,12}{0,639 \cdot 50,56} = 23,28 \text{ кН / см}^2; \text{ кернеулілігі } 3\%.$$

#### 4.6.3. Шектік иілгіштік бойынша қима таңдау

Жоғарыда ұсынылған блок – сұлба бойынша қима таңдау кезінде иілгіштік шектік иілгіштіктен асып кететін жағдайлар кездеседі. Ол көбінде есепті ұзындығы көп, әсер ететін сығатын күш аз болса орын алуы мүмкін. Осындай жағдайда керекті инерция радиусын тауып,  $r_{кер} = \frac{l_0}{\lambda}$

Қима қабылданған соң оның иілгіштігін анықтап оны шектік иілгіштікпен салыстырылды. Ұсынылған әдіс созылған шыбықтар үшін де жарамды.

#### 4.6.4. Созылған шыбықтардың қимасын таңдау

Созылған шыбықтардың ауданы келесі формулалар бойынша анықталады:

$$A_{кер} = \frac{N}{R_y \cdot \gamma_c} \quad (216)$$

бұл жерде:  $R_y$  - болаттың аққыштық шегі бойынша анықталған есепті қарсыласуы;

#### 4.6.5. Бойлық күш пен иілу моменті әсер ететін шыбықтар қимасын тандау

Кей кезде стропилалық ферманың жоғарғы белдеу шыбықтарына бойлық күш пен иілу моменті әсер етеді. Олардың шамаларын анықтау алдыңғы тарауда келтірілген.

Қима келесі формула бойынша анықталады:

$$A_{кер} = \frac{N}{\varphi_e \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (217)$$

бұл жерде:  $\varphi_e$  – центрден тыс сығылғандағы коэффициент,  $\varphi_e = m = \frac{e_0}{\rho}$  эксцентриситетке тең келтірілген эксцентриситетке және иілгіштікке

$$\bar{\lambda}_x = \left( \frac{l_{0x}}{r_x} \right) \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} \text{ байланысты.}$$

Қима тандау кезінде  $\rho$  және  $r_x$  қима түріне байланысты жуық шамамен қабылданады. Қима түрін алғаннан кейін иілгіштікті қабылдайды

$$\lambda_x = \frac{l_0}{r_x}, \text{ сөйтіп келтірілген иілгіштікті анықтайды } \bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{R_y/E};$$

эксцентриситетті анықтап  $\lambda_x = \frac{\mu_x}{N}$ , келтірілген эксцентриситетті анықтайды

$m_{кел} = \eta \cdot m = \eta \frac{e_0}{\rho_x}$ , және  $\lambda_x$  бойынша  $\varphi_e$  ҚР ҚНЖЕ 5.04.23-2002 кестесі бойынша тауып (223) формуламен  $A_{кер}$  анықталады.

Қима өлшемдері табылған соң қима орнықтылығы тексеріледі.

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_y \cdot A} \leq R_y \gamma_c, \quad (218)$$

бұл жерде:  $\varphi_y$  – қабылданған қима үшін қайта табылады. Егер  $m < 20$  болса, онда орнықтылықты тексермей тек беріктігін тексерсе болады.

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \leq R_y \gamma_c, \quad (219)$$

Иілу моменті әсер ететін жазықтықтан тыс жазықтықтағы орнықтылығы келесі формуламен тексеріледі:

$$\sigma = \frac{N}{c \cdot \varphi_y \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (220)$$



бұл жерде:  $\varphi_y - \lambda_y = \frac{l_0}{r_y}$  - бойынша анықталған коэффициент.

#### 4.7. Жеңіл фермалар конструкциялары

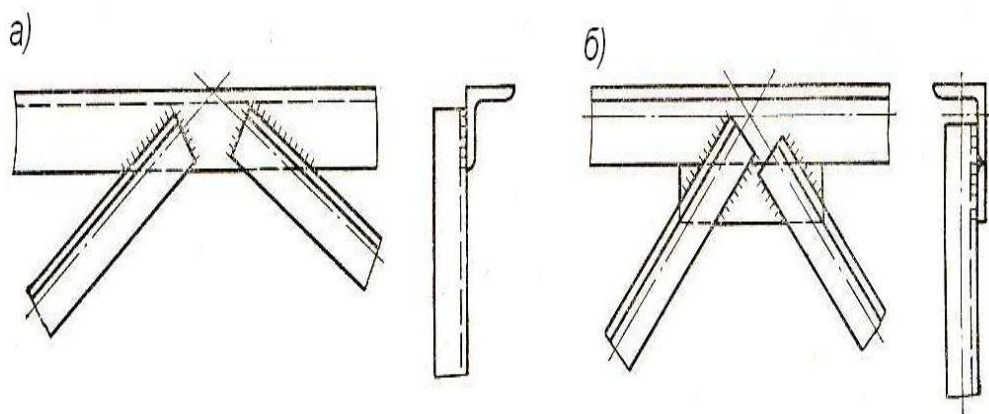
Конструкциялауға қойылатын жалпы талаптар - қималардың ауырлық центрі түйіндегі геометриялық өстерден ауытқуы 5мм аспайтындай етіп орналастыру қажет, бұл центрден ауытқығанда пайда болатын кернеудің шамасын азайту керек. Түйіндегі иілу моменттері бойлық күштің эксцентриситетпен көбейтіндісіне тең. Тор шыбықтарында өсіне перпендикуляр бағытта кеседі, үлкен калибрлі бұрыштар үшін қиғаш кесуге рұқсат етіледі. Тор шыбықтарында пайда болатын кернеуді азайту үшін белдеуге  $a = 6t \approx 20$  мм жеткізбей қояды, бірақ 80 мм артпауы керек.

Түйін қаңылтырының қалыңдығы әсер ететін ішкі күш шамасына байланысты қабылданады. Фермадағы түйін қаңылтыры қалыңдығының ауытқуы 2 мм аспауы қажет.

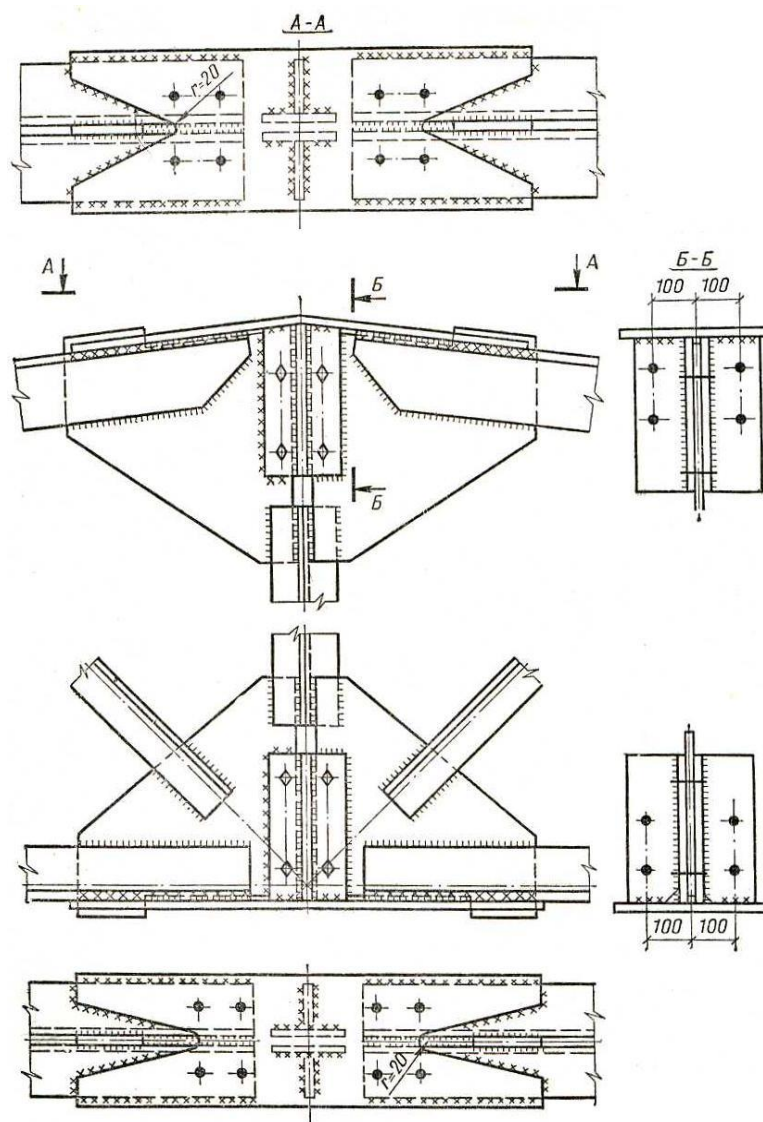
Конструкциялау кезінде түйін қаңылтырларының сұлбасы қарапайым болуын, сөйтіп кесінді санын азайтуы керек. Стропилалық фермалардың ұзындығы 18 – 36м болғанда, ол екіге бөлініп ортасындағы түйін монтаждау алаңында біріктіріледі. Түйістіру оңай болу үшін екі бөлігі өзара алмастыратындай болғаны дұрыс.

##### 4.7.1 Бір бұрышты фермалар

Жеңіл бір бұрышты пісірілген фермаларда түйін қаңылтыры болмайды, тор элементтері белдеуге пісіріліп бекітіледі (113 сур.). Тор элементтерімен белдеулердің ауырлық центрлерін жақындату үшін тор элементтері белдеу бұрышының іш жағынан бекітіледі.



Сурет 113. Бір бұрышты фермалар түйіні



Сурет 114. Қос бұрышты стропилалық ферманың ірілендірілген жігі

Бұрыштар контурлары бойынша пісіріліп бекітіледі. Бұрышты пісіріп бекіту тек жапсарлас немесе тек маңдайша жіктермен жүргізу рұқсат етіледі. Тор элементтерін центрлендіру үшін белдеу бұрышының ішкі жағынан бекіту керек.

Бұрыштар контур бойынша пісіріліп бекітіледі. Кей кезде бір жапсар бір маңдайша жікпен бекіту рұқсат етілді. Егерде пісіру жігі белдеу енінен артық болса, онда белдеудегі жолақ қаңылтырды пісіріп кеңітуге болады.

#### 4.7.2. Қос бұрышты фермалар

Қос бұрышты тавр қималы фермалар олардың ортасынан өтетін түйін қаңылтырлы етіп жобаланады. Шыбықтар түйін қаңылтырына жапсарлас жіктер арқылы бекітіледі. Түйін қаңылтырына бекітілгенде бұрыш ұшы мен төбелер арасында кері пропорциялармен бөлінетін ішкі күш табылып,

содан кейін соларға сәйкес жік ұзындықтары анықталады. Жапсарлас жік ұзындығы кесік жағына 20 мм – ге шығарылады.

Түйін қаңылтырына аз қалыңдықты тұтас жікпен бекіту ұсынылады. Мүмкіндік болса, белдеуден түйін қаңылтыры белдеу бұрышынан 10 – 15 мм шығарылып қойылады.

Түйін қаңылтырына белдеуді бекіткенде ондағы жік есепті күшке есептеледі:

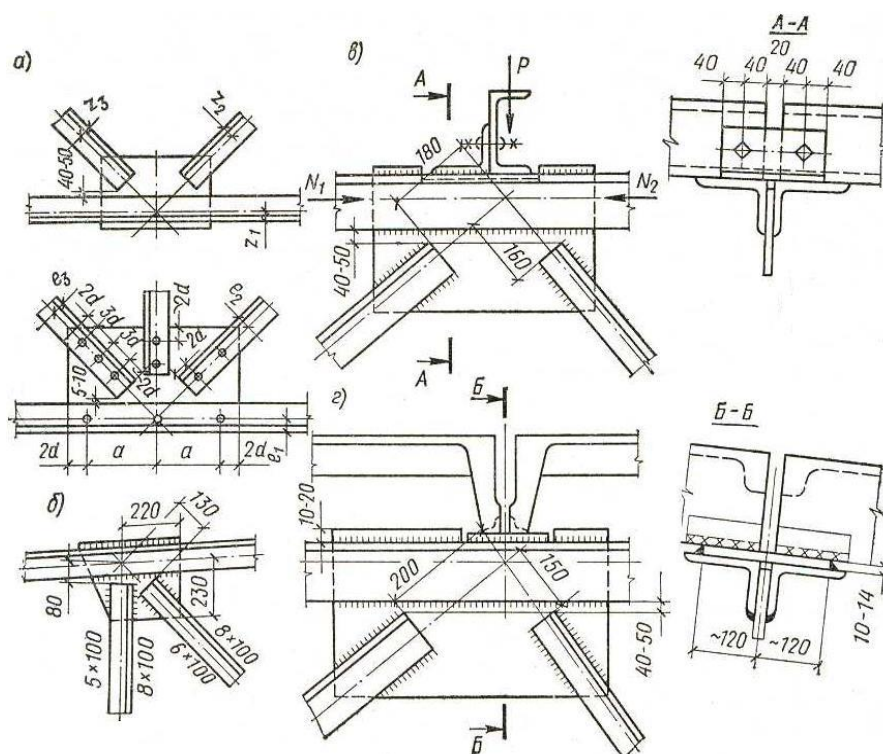
$$N_{\text{есеп}} = \sqrt{(N_2 - N_1)^2 + F^2}, \quad (221)$$

бұл жерде:  $N_2, N_1$  - түйінде кездесетін белдеулердегі ішкі күші;

$F$  – түйін жүгі.

Жоғарғы белдеу бұрыштары темірбетон плиталар салмағынан майысып кетпеуі үшін оларға ферма қадымы 6м кезінде белдеу қалыңдығы 10 мм кем болса, ал ферма қадымы 12м кезінде белдеу қалыңдығы 14мм кем болса, 12мм жолақ қаңылтырмен күшейтіледі (115, в сур.).

Түйін қаңылтырының қалыңдығы ферма шыбықтарындағы ішкі күш шамасына байланысты қабылданады.



Сурет 115. Қос бұрышты фермалардың түйіндері  
 а – шыбықтарды орталықтандыру; б-көлбеу торлы түйін; в-қарыларды бекіту; г-ірі панельді плиталарды бекіту

Кесте 21.

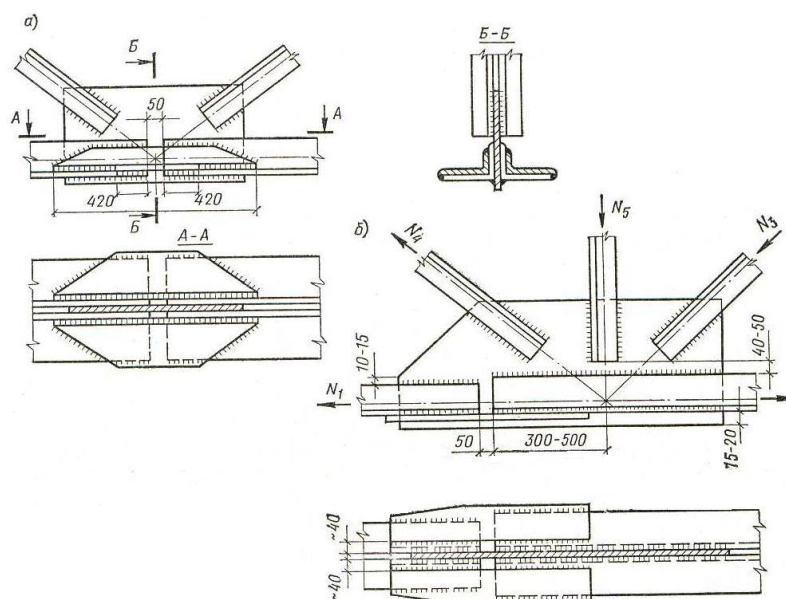
Түйін қаңылтырының ұсынылатын қалыңдықтары

| Шыбықтардағы ең үлкен күш, $kH$  | <150 | 160 – 250 | 260 – 400 | 410 – 600 | 610 – 1000 | 1010 – 1400 | 1410 – 1800 | >1800 |
|----------------------------------|------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------|
| Түйін қаңылтырының қалыңдығы, мм | 6    | 8         | 10        | 12        | 14         | 16          | 18          | 20    |

Көлбеу тіреулі торлы фермаларда түйін қаңылтыр сұлбасы трапеция тәрізді етіп қабылданады. Түйін қаңылтырын кесілетін жердің ұзындығы аз етіп, ең аз бөлшекті етіп даярлау қажет.

Күшті тордан белдеуге ыңғайлы беру үшін түйін қаңылтыр бұрышы  $15^\circ$  артықтау етіп қабылданады.

Егерде түйінде ферма белдеулері түйіссе, онда олар арнайы тапсырма қаңылтырлармен жабылады (116 сур). Түйін қаңылтырын жұмыс істету үшін белдеулер түйісулері Н түйіннен сырты шығару қажет (116, а сур.).



Сурет 116. Ферманың төменгі белдеуінің зауыттық жіктері

Екі бұрышты тавр ретінде қойылғанда, олардың бірге жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін жолақ қаңылтырлар қойылады олардың ара қашықтығы сығылған элементтер үшін –  $40i$ , ал созылған элементтер үшін –  $80i$  артпауы қажет ( $i$  – жалаң қаңылтырға параллель ось бойындағы бұрыштың инерция радиусы). Сығылған элементтер үшін жалаң қаңылтыр саны екіден кем болмауы шарт.

## 5. ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫСТАҒЫ МЕТАЛЛ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ДАЯРЛАУ НЕГІЗДЕРІ

Болат конструкцияларды даярлау әр түрлі операциялардан тұрады. Болат конструкцияларын даярлау үшін негізгі өндіріс цехтарын ұйымдастырады. Олар металды даярлау цехы қоймасымен; деталдарды өңдеу цехы; жартылай даяр бұйымдар қоймасы; пісіретін-жинайтын цех; бояу цехы мен даяр бұйымдар қоймасы.

Металды даярлау цехында металлпрокатты сақтау, сорттау, түсіру, маркалау, түзету, жинау және босату операциялары орындалады. Бұлардан басқа кесілген керекті металл прокаттарды жинау және босату операциялары да орындалады. Кейбір зауыттарды металлпрокаттарды коррозиядан күйген қабатты арнайы құралдармен тазалайтын, профильді болаттарды қажетті ұзындықпен кеседі, қаңылтыр болаттарды алдын-ала түйістіреді.

Өңдеу цехында металл прокаттан деталдар даярланады. Даярлау негізінен алдын-ала белгілінбей-ақ жүргізіледі. Егер де деталь күрделі болса, онда металл бетіне оның сұлбасын, тесік ортасын, майыстыратын сызықтарын және белгілер мен жазулар салынады. Металды сол салынған сызықтар бойымен кеседі. Металды кесу қайшымен, арамен немесе оттегімен автомат және жартылай автоматпен, қазіргі кезде көбінде зауыт жағдайында плазмамен жүргізіледі. Кейбір детальдардың шеттері жонылып, кесіктері фрезермен өңделеді.

Өңдеу цехы құрамында белгілейтін шеберханалар бар. Технологиялық операциялар прокат профильдеріне байланысты топтанады: оларды параллель жүйелерде өңдейді.

Әр технологиялық жүйе керекті құрал жабдықтармен қамтамасыз етіледі. Жүйеге прокатты қою, тасымалдау және түсіру механикаландырылады және автоматтандырылады.

Қаңылтыр өңдейтін жүйеге гильтинолық қайшы, пресс-қайшы, газбен кесетін машина, қаңылтырды майыстыратын біліктер, тесетін, шетін майыстыратын пресстер, радиаль бойымен тесетін, кесіктерді фрезерлейтін, шетін жонатын станоктар, т.б. қойылады.

Бұрыштарды, швеллерлерді, қоставрларды өңдейтін жүйеде кесетін қайшылар, тісті дискілі аралар, тесіктерді бұрғылап тесетін, кесіктерді фрезерлейтін станоктар, т.б. орнатылады.

Бұлардан басқа жүйелерде бірнеше операциялар орындайтын технологиялық операциялар орындайтын технологиялық құралдар мен автоматтандырылған жабдықтар орналастырылады.

Пісіретін-жинайтын цехтарда өңдеу цехынан алынған жеке детальдардан конструкциялар жиналады.

Жинау процесі детальдарды сызбаға сәйкес орындарына қойып, қысқа пісіру жіктерімен бекітуден басталады. Жиналған конструкциялар

автоматпен немесе жартылай автоматпен пісіріледі. Керек кезінде нүктелі немесе контакты пісірулер қолданылады.

Өте үлкен және күрделі конструкцияларды жинау үшін монтаждау кезінде біріктірулердің жоғарғы сапасын қамтамасыз ету үшін қосымша жұмыстар жүргізіледі. Олар – конструкция кесіктерін фрезерлеу, бұрғылап тесу және жинап байқау т.б. Жалпы жинау – конструкция өлшемдерін жобаға сәйкестендіру, шеттерін пісіруге келтіру, монтаждауға керекті тесіктерді бұрғылау үшін қажет. Жинап байқау элементтерді даярлау дәлдігін тексеру үшін және орын ауыстыру мүмкіндігін тексеру үшін қажет. Негізінен жинап байқау біркелкі конструкциялардың бірінші немесе оныншы конструкциялары үшін керек. Даяр конструкцияларға тапсырма: жұмыс, сызба, нөмірлері, конструкциялардың маркалары бояумен жазылады.

Даярланған конструкциялар бояу цехына тасымалданып жеткізіледі. Бояу цехында даяр конструкциялар боялып жиналады және теміржол платформалары мен автотранспорттарға жүктеп монтаждау үшін құрылыс алаңына жөнелтеді.

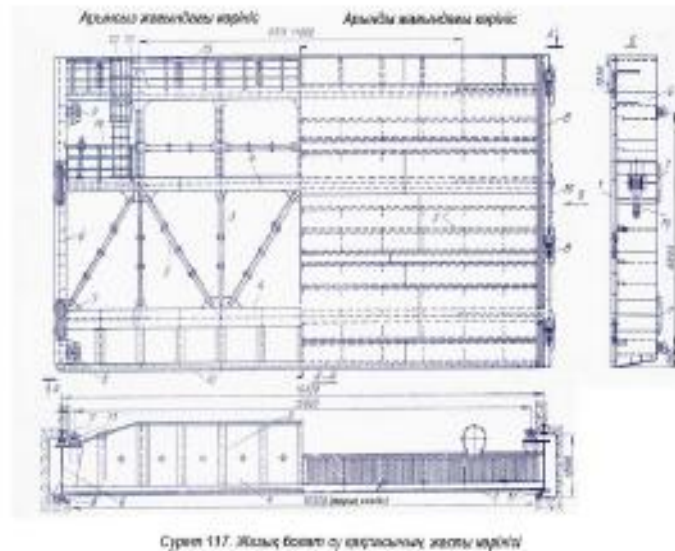
Болат конструкциялар даярлау сапасын тексеру үшін зауыттарда тексеру жүйелері бар. Тексеру жүйелері материалдардың, конструкциялардың сапаларын, жобаға сәйкестігін, егер жобадан ауытқу болса, оны көрсету үшін қажет. Олар үшін қажетті мамандар, қабылдайтын қызметкерлер керек.

Прокатты болаттардың, электродтардың, пісіру үшін керекті сымдардың, флюстардың, т.б. материалдардың сапалары мемлекеттік стандарттарға, техникалық шарттарға сәйкес болуы қажет.

### **Қақпаның қызметі**

Гидротехникалық құрылымдағы су өткізуге қалдырған тесіктерді су қақпалары жабады. Су қақпалары деп, гидротехникалық құрылымдардағы суды өткізуге, қалқып жүрген заттарды, мұзды, кемелер мен порттарды өткізуге судың жоғары және төменгі деңгейлерін реттеуге арналған конструкцияларды айтамыз. Гидротехникалық су қақпалары бас гидротехникалық құрылымдарда және су бөлетін гидротехникалық құрылымда қолданылады.





- 1- су өткізбейтін болат қаптау; 2- арқалықтар торы; 3- диафрагмалар; 4- ригельдер; 5- бойлық байланыстар; 6- тіректі арқалықтар; 7- тіректі-жылжымаы бөлік; 8- кері дөңгелектер; 9- бүйірлік дөңгелектер; 10,11- Тығыздағыш құрылғылар; 12- аспалы құрылғылар; 13- баспалдақтар; 14,15- қызмет көрсету алаңшасы мен қоршаулар; 16-қақпаны қысқыштар; 17- қақпаның жүру жолдары.

#### Гидротехникалық су қақпаларының жіктелуі

Пайдалануына сәйкес су қақпалары негізгі, авариялық, жөндеу үшін, құрылыс үшін болып бөлінеді.

Авариялық су қақпалары авария болған кезде гидротехникалық құрылым тесігін жабуға керек.

Негізгі су қақпалары су деңгейлерін ұстап тұруға, суды пропорция бойына бөлуге, су шөгіндерінен тазалауға қажет.

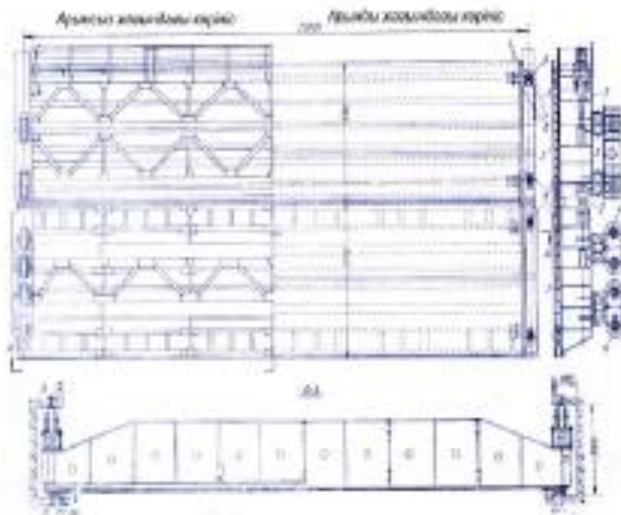
Жөндеу үшін керекті су қақпалары негізгі су қақпасын жөндегенге қолданылады.

Құрылыс су қақпалары құрылыс су шығынын өткізу үшін қажет.

Жоғарғы бьеф деңгейіне байланысты су қақпалары, беткі және тереңгі болып бөлінеді.

Беткі су қақпалары су ағызатын тесіктерді жабуға арналған. Толық жабылған кезінде суға батып кетпейді, сондықтан олардың жұмыс істеуі тереңгі су қақпаларына қарағанда оңтайлырақ.

Тереңгі су қақпалары су бетінен төмен жатқан тесіктерді жабуға арналған.



Сурет 118. Жазық екі секциялы су қақпасы

1- төменгі секция; 2-секция аралық ілініс; 3- жоғарғы секция;  
4- балансирлі арба; 5-балансирлі сырғымалары бар арба; 6-кері дөңгелектер; 7-қысқыштардың тірегі; 8- бүйірлік дөңгелектер; 9- негізгі жол; 10- бүйірлік дөңгелектерге арналған жол; 11- кері дөңгелектерге арналған жол.

### Жазық гидротехникалық су қақпаларының конструкциялары

**Жазық болат су қақпалары** – арқалықты жылжитын, дөңгелейтін тіреулері арқылы гидротехникалық құрылымдарға су қысымын беретін конструкциялар. Жазық болат су қақпалары аралығы 40 м (биіктігі 15 м – ге дейін) тесіктерді жабады.

Жазық су қақпалары жылжитын, жылжымайтын бөліктерден және көтеретін механизмнен тұрады.

### Су қақпасының құрамы

Болат қаптау су қақпасының су қысымы берілетін жағынан орналасып, судың ағызбауға арналған, су қысымын қабылдап оны су қақпаның арқалықтар торына береді. Болат қаптау – қаңылтыр болаттан даярланады.

**Арқалықтар торы** – көлденең қойылатын қосымша арқалық - стрингерден, бас арқалықтардан және тік арқалықтардан тұрады. Көбінде қосымша арқалық – стрингерлер тік арқалықтарға қабаттаса тіреледі. Тік арқалықтар көлденең байланыс ферма құрамына енеді, сөйтіп оның жоғарғы белдеу қызметін атқарады. Тік арқалық қабылдайтын су қысымы көлбеу тіреулер арқылы бас арқалықтарға бөлінеді.

Бас арқалықтар торы қабылдайтын су қысымын шеткі тік тіреулерге береді.



Шеткі тік тіреулер бас арқалықтан су қысымын қабылдап, оны жүретін тіректерге және ілінген жабдықтарға береді. Шеткі тік тіреулер бас арқалықтардың тұрақты жағдайын қамтамасыз етеді және жүретін – тірек бөлімдерін бекітуге қажет.

Бойлық байланыстар бас арқалықтардың төменгі белдеулер араларында орналасады және су қақпасының қысым әсер етпейтін жағына тік жазықтықтағы қатандығын қамтамасыз етеді. Бұл байланыстар су қақпасының массасын және көтерген кезде пайда болған тік күштерді қабылдап, оларды шеткі тік тіреулерге беру үшін қажет.

Болат қаптау бойлық байланыс ферманың су қысым ететін жағынан орналасып қақпаның қатандығын қамтамасыз ететін қатаң конструкция құрайды.

**Көлденең байланыстар** – тік фермалар су қысым ететін жақтағы белдеуі – тік тіреу ал су қысым етпейтін жақтағы белдеуі бойлық байланыс ферма тіреулері жатады.

**Жылжитын** — тірек бөлімдері доңғалақ немесе сырғитын, судың гидростатикалық қысымын су қақпаның қосалқы детальдарына одан ары бетон құрылымына беретін, бөліктері болып есептеледі.

Судың қақпаны айналып өтуіне кедергі жасайтын болат қаптаумен қосалқы детальдар арасына тығыздайтын резинкалар қойылады. Тығыздайтын резинкалар су қақпаның түбіне және жанына қойылады.

Аспалы бөліктер су қақпасының жылжитын бөліктерін көтергіш механизмдердің тартатын бөлігімен қосылады.

**Су қақпасының қозғалмайтын бөліктері келесі элементтерден тұрады:**

- жылжымалы – тіректердің қосалқы бөліктері (жұмыс жолдары);  
көлденең және тік тығыздайтын резиналардың қосалқы бөліктері;
- бетон массасының, қабырғаның бұрыштарын темірленулері;
- су қақпасын жылытатын бөліктері.

### Гидротехникалық су қақпасының бас өлшемдерін анықтау

Су қақпасының есепті аралығы

$$L = L_0 + 2C, \quad (222)$$

бұл жерде:  $L_0$  - су өткізетін тесік ені;

$C$  – су қақпасының тіреу орталығынан құрылым ойысының шетіне дейінгі аралық.

Алдын-ала есептеу кезінде  $C$  келесі берілгендер бойынша қабылданады.

|          |            |            |                 |
|----------|------------|------------|-----------------|
| $L_0, м$ | 10-дейін   | 20 -дейін  | 30... 40 -дейін |
| $H, м$   | 6-дейін    | 8-дейін    | 12... 15-дейін  |
| $C, мм$  | 200..250мм | 300..400мм | 500..800мм      |

Бұл жердегі  $H$  – су биіктігі.

Тереңдегі су қақпалары үшін  $C = 250$  мм тең етіп қабылданады. Су қақпасының биіктігі келесі формуламен анықталады:

$$H_k = H + a, \quad (223)$$

бұл жерде:  $a$  – беткі су қақпалары үшін жоғарғы бьефтегі су деңгейінен артық бөлігі, негізгі және авариялық су қақпалары үшін 100 – 300 мм; жөндеу үшін қажетті су қақпасы үшін 400 мм.

Беткі су қақпасы үшін берілгендері  $L_0 = 16$  м;  $H = 7,0$  м; су қақпасы – негізгі  $L_1 = 16 + 2 \cdot 0,075 = 16,15$  м. Жүктейтін аралық  $H_k = 16 + 2 \cdot 0,075 = 16,10$  м.  $H_k = 7 + 0,2 = 7,2$  м

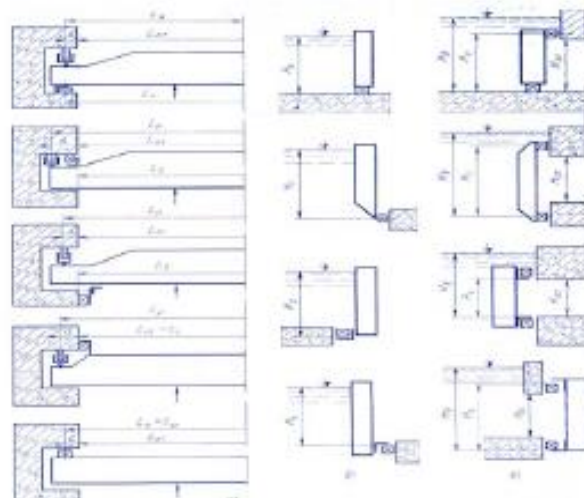
Тереңгі су қақпасының берілгендері:  $L_0 = 10$  м;  $H_0 = 4,0$  м;  $H = 6,0$  м; су қақпасы негізгі.

$$L = 10 + 2 \cdot 0,25 = 10,5 \text{ м};$$

$$H_k = 4 + 0,25 = 4,25 \text{ м};$$

$$L_{жс} = 10 + 2 \cdot 0,075 = 10,15 \text{ м};$$

$$H_{жс} = 4 + 0,25 = 4,25 \text{ м}$$



Сурет 119. Жазық беттік және тереңдік су қақпаларының өлшемдерін есептеуге арналған сұлба.

а – бүйірлік тығыздағыштардың орналасуынан байланысты  $L_{Г}$ ,  $L_0$ ,  $L$  есебі; б – төменгі тығыздағыштардың орналасуынан байланысты беттік су қақпалары үшін  $H_{Г}$  және  $H_0$  есебі; в – төменгі және жоғарғы көлденең тығыздағыштардың орналасуынан байланысты тереңдік су қақпалары үшін  $H_{Г}$  және  $H_0$  есебі;  $L_0$  – жарық кездегі саңлау аралығының ені;  $L$  – су қақпасының тіректі-жылжымалы бөліктерінің осьтері бойынша қабылданатын есепті аралық;  $L_{Г}$  – тығыздағыштың орналасуы анықтайтын жүкті аралық. Биіктік өлшемдерін де осы индекстер сипаттайды.

## Гидротехникалық су қақпасының көтергіш конструкцияларын орналастыру

Беткі екі арқалықты су қақпасының бас арқалықтарын орналастыру. Бас арқалықтарды қатысатын конструктивтік талаптарға сәйкес бірдей жүктелетін етіп орналастыру қажет.

$$\alpha_2 = 400 - 600 \text{ мм} \quad 0,5\alpha + \alpha_2 = \frac{H}{3}$$

$$\begin{aligned} \text{Мысал. } \alpha_2 &= 500 \text{ мм}; & 0,5\alpha \\ \alpha &= 3660 \text{ мм}; & \alpha_2 = 2840 \text{ мм.} \end{aligned}$$

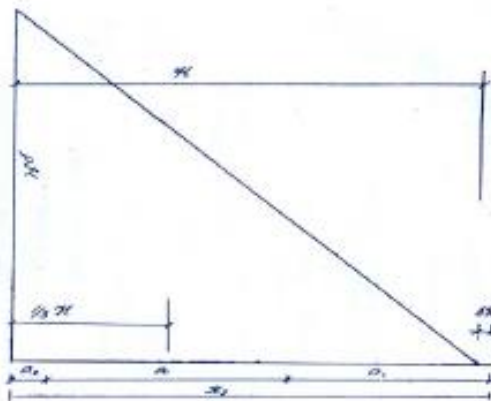
Тереңгі екі арқалықты су қақпасының бас арқалықтарын орналастыру. Тереңгі су қақпасына трапеция тәрізді су қысымы әсер жасайды. Трапецияны аудандары бірдей екі трапецияларға бөліп, олардың ауырлық центрлерін тауып, соларға қарама-қарсы бас арқалықтарды орналастыру қажет.

$$A_{кер} = \frac{H + (H - H_{Г})}{2} \times H_{Г}; \quad A_1 = A_2 = \frac{A_{кер}}{2}, \quad (224)$$

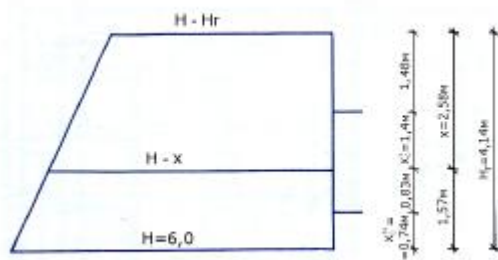
Екінші жағынан

$$A_1 = \frac{(H - H_{Г}) + (H - H_{Г} + x)}{2} \cdot x, \quad (225)$$

бұл жерде:  $x$  – трапецияны екі бірдей бөліктерге бөлетін сызық орны.



Сурет120. Беттік су қақпасына гидростатикалық қысымның және су қақпасының биіктігі бойынша ригельдерді орналастыру эпюрасы



Сурет121. Тереңдік су қақпасы ригельдерінің орналасуы

Аудандарды теңестіріп квадраттық теңдеуді шешу арқылы  $x$ -тің сан мәнін табамыз, содан кейін екі кіші трапециялардың ауырлық центрлерін табамыз:

$$x_c^1 = \frac{S_{y1}}{A_1} = \frac{(H - H_r) \frac{x^2}{2} + \frac{x^2}{2} \cdot \frac{1}{3} x}{(H - H_r) \cdot x + \frac{x^2}{2}}, \quad (226)$$

$$x_c^2 = \frac{S_{y2}}{A_2} = \frac{(H - H_r + x) \times \left(\frac{H_r - x}{2}\right)^2 + \frac{(H_r - x)^2}{6}}{(H - H_r + x) \cdot H_r - x - \left(\frac{H_r - x}{2}\right)^2}, \quad (227)$$

бұл жерде:  $S_{y1}, S_{y2}$  - бірінші және екінші трапецияның  $y_1$  және  $y_2$  өстері қарағандағы статикалық моменттері.

$$A_{mp} = \frac{6 + (6 - 4,15)}{2} \times 4,15 = 16,2 \frac{m}{m}$$

Мысал:  $A_1 = 8,1 \frac{m}{m}$   
 $8,1 = \frac{(6 - 4,15) + 6 - 4,15 + x}{2}$

Осыдан  $x^2 + 3,7x - 16,2 = 0$   $x = 2,58 \text{ м}$   $x_c^1 = 1,1 \text{ м}$ ;  $x_c^2 = 0,74 \text{ м}$

### Бас арқалықты есептеу

Бас арқалық ферма немесе коставрлы құрамы қималы болып қабылданады. Құрама қимасы арқалықтарды дөңгелек тесіктер жобаланады.

Бас арқалық қимасын таңдау алдыңғы тарауларда келтірілген арқалықтар торының бас арқалық қимасын таңдаумен бірдей жүргізіледі. Сондықтан қима таңдауды мысал ретінде қарастырамыз.

Беткі қақпа мысалы.

$$q = p \frac{H^2}{4} = 1 \cdot \frac{49}{4} = 12,125 \text{ м/м} = 121,25 \text{ кН/м}$$

$$R_A = q \frac{L_r}{2} = \frac{121,25 \cdot 16,15}{2} = 998 \text{ кН}$$

$$M_1 = 99,8 \cdot 0,275 = 27,4 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q = 998 \text{ кН}$$

$$M_{\max} = 99,8 \cdot \frac{16 \cdot 7}{2} - 121,25 \left( \frac{16 \cdot 7}{2} - 0,275 \right) \cdot \frac{2}{2} = 430,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$W_{\text{кер}} = \frac{4303,3 \cdot 10^3 \cdot 1,2}{\leq 30 \cdot 1} = 24697 \text{ см}^3;$$

$$A_n = 157,5 \text{ см}^3; \quad R_y = 230 \text{ МПа}; \quad R_s = 130 \text{ МПа};$$

$$\gamma_n = 1,2; \quad \gamma_c = 1,0$$

$$f_{\min} = \frac{5}{24} \frac{230 \cdot 1670}{2,06 \cdot 10^5 \cdot 1,1} \cdot 600 = 207 \text{ см};$$

$$t_w = \frac{3 \cdot 998 \cdot 4 \cdot 10}{130 \cdot 207} = 1,11 \text{ см}; \quad t_w = 1,2 \text{ см}$$

$$L = \frac{6A_n \cdot f + 2t_w \cdot h^2}{6W_{\text{кер}} + t_w \cdot h} = \frac{6 \cdot 233 \cdot 210 + 2 \cdot 1,2 \cdot 210^2}{6 \cdot 24697 + 1,2 \cdot 210} = 2,03;$$

бұл жерде:  $L$  - көлденең қиманың ассиметрия коэффициенті;  $h_a = 210 \text{ см}$  - арқалық биіктігі.

Арқалықтың жалпы қимасы:

$$A = \frac{L+1}{f} \cdot W_{\text{тп}} + \frac{(L+1)^2}{6L} \cdot f \cdot t_w = \frac{2,03+1}{210} \cdot 24697,2 +$$

$$+ \frac{(2,03+1)^2}{6 \cdot 2,03} \cdot 210 \cdot 1,2 = 613,36 \text{ см}^2;$$

$$A_o = A - t_w \cdot h_w - F_y = 613,36 - 1,2 \cdot 210 - 233 = 128,3 \text{ см}^2;$$

$$t_f = 3,0 \text{ см}; \quad b_o = 42,76 \text{ см}$$

қабылдағанымыз  $b_f = 4 \text{ см}$ ,  $A_o \geq 40 \text{ см}^2$

Арқалықтың көлденең қимасы

$$Y_c = \frac{3,45 \cdot 1,5 + 1,2 \cdot 206 \cdot \frac{2}{2} + 233 \cdot (210 - 0,5)}{615} = 121 \text{ см}$$

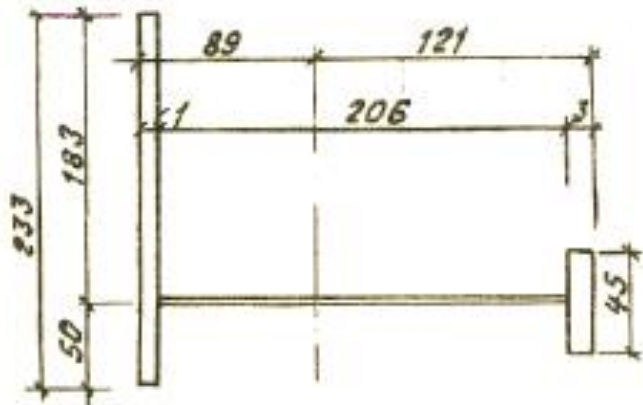
$$Y_{xc} = \frac{3^3 \cdot 45}{12} + 3 \cdot 45 \cdot (121 - 1,5)^2 + \frac{1,2 \cdot 206^3}{12} + 1,2 \cdot 206 \left( \frac{206}{2} - 121 \right)^2 +$$

$$+ 233 \cdot 1 \cdot (89 - 0,5)^2 = 4631412 \text{ см}^4$$

қиманың статикалық моменттері

$$S_{xc}^k = 233 \cdot 1 \cdot (89 - 0,5) = 20620 \text{ см}^3$$

$$S_{xc}^0 = 45 \cdot 3(121 - 1,5) = 16132,5 \text{ см}^3$$



Сурет 122. Аркалықтың көлденең қимасы

Беріктікті тексеру

Аркалық қабырғасындағы тесік диаметрін табу.

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 0,2 \cdot A_{\text{бол}}} = \sqrt{\frac{4}{3,13} \cdot 0,2 \cdot 278 \cdot 206} = 121 \text{ см}$$

Қабылдағанмыз  $D = 120 \text{ см}$

Қатаңдық қыры өлшемдері:

$$A_p = \frac{t \cdot D}{6} \cdot \frac{12l^2 + D^2}{4l^2 + D^2} = \frac{1,2 \cdot 120}{6} \cdot \frac{12 \cdot 22,5^2}{4 \cdot 22,5^2 + 120^2} = 29,9 \text{ см}$$

$$t_k = 18 \text{ см};$$

$$b_k = 170 \text{ см};$$

$$A_k = 30,6 \text{ см}^2;$$

$$b_t = 17 \text{ см} \leq 12 \cdot 1,8 = 21,6 \text{ см}$$

Қабырғаның жергілікті орнықтылығын тексеру алдыңғы тарауларда аркалықтар торын есептегенде келтірілген.

## Стрингерлерді орналастыру, есептеу. Болат қаптауды есептеу

$$q_1 = \frac{\frac{1}{3} \cdot 0,5379 \cdot 0,328}{0,628} = 0,09365 \frac{kH}{m}$$

$$R = \frac{10 \cdot 0,328^2}{2} = 0,5379 \frac{kH}{m}$$

$$q_2 = \frac{0,5379 \cdot \left(0,628 - \frac{0,328}{3}\right)}{0,628} + \frac{3,28 + 6,42}{2} \cdot 0,314 = 1,965 \frac{kH}{m}$$

$$q_3 = \frac{6,42 + 12,7}{2} \cdot 0,628 = 6,0 \frac{kH}{m}$$

$$q_4 = \frac{12,7 + 1\delta, q\delta}{2} \cdot 0,628 = 9,947 \frac{kH}{m}$$

$$q_5 = \frac{18,98 + 25,26}{2} \cdot 0,628 = 132, \delta q \frac{kH}{m}$$

$$q_6 = \frac{25,26 + 30,74}{2} \cdot \frac{0,628 + 0,532}{2} = 16,24 \frac{kH}{m}$$

$$q_7 = \frac{30,74 + 36,07}{2} \cdot 0,532 = 17,77 \frac{kH}{m}$$

$$q_8 = 20,4288 \frac{kH}{m}; \quad q_9 = 23,25 \frac{kH}{m}; \quad q_{10} = 26,089 \frac{kH}{m}; \quad q_{11} = 28,91 \frac{kH}{m};$$

$$q_{12} = 31,75 \frac{kH}{m}; \quad q_{13} = 29,96 \frac{kH}{m}; \quad q_{14} = 20,71 \frac{kH}{m}; \quad \sum q_i = 247 \frac{kH}{m}$$

тексеру  $\sum q_i \approx P \frac{H^2}{2} = 10 \frac{7^2}{2} = 245 \frac{kH}{m}$  ауытқуы – 0,81%

Ең үлкен су қысымы он екінші стрингерге түсіп тұр.

$$q_{\max} = q_{12} = 31,7 \frac{kH}{m};$$

$$M_{\max} = \frac{31,75 \cdot 2,78^2}{10} = 24,53 \frac{kH}{m};$$

$$W_{\text{кер}} = \frac{24,53 \cdot 10^2}{24} \cdot \frac{1,2}{10} = 122,65 \text{ см}^2$$

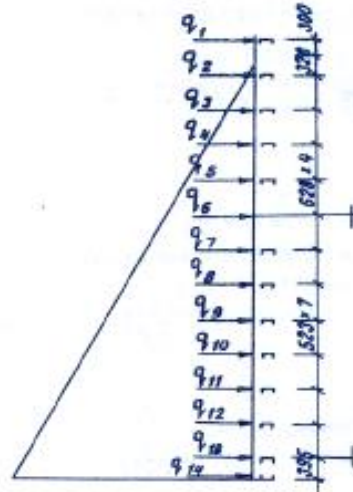
ҚАБЫЛДАҒАНЫМЫЗ:

$$W_x = 1210 \text{ см}^3; \quad V_x = 1080 \text{ см}^4; \quad b_m = 7,0 \text{ см};$$

$$A = 36,38 \text{ см}^2; \quad V_c = 6,13 \text{ см}; \quad V_{xc} = 2415,69 \text{ см}^4$$

$$\sigma_{\max} = \frac{24,59 \cdot 10^2}{2415,69} \cdot 15,13 = 15,36 \frac{kH}{\text{см}^2} \leq 20 \frac{kH}{\text{см}^2}$$

(Егер № 16 қабылдасақ  $\sigma_{\max} = 23,14 \frac{kH}{m} \geq 20 \frac{kH}{\text{см}^2}$ ).



Сурет 123. Стрингерге түсетін жүктерді анықтау сұлбасы

### Иілу мөлшерін анықтау

$$f = \frac{5}{480} \cdot \frac{31,75 \cdot 10^{-2}}{2,06 \cdot 10^4} \cdot \frac{278^4}{2415,69} = 0,38 \text{ см} \leq [f] = \frac{278}{250} = 1,01 \text{ см}$$

Болат қаптаудың жергілікті орнықтылығы қамтамасыз етілсе, аз жүктелгендіктен оның беріктігі де қамтамасыз етіледі.

$$\sigma_{\max} = \frac{H}{A} \pm \frac{M}{W_n} = \frac{5,2 \cdot 2,26 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{2} \cdot 53,2^2}{1} \pm \frac{65 + 60,32}{8 \cdot 1 \cdot 1^2 \cdot (1+)} \cdot 53,2^2 \cdot 6 = 10,9 \frac{\text{kH}}{\text{см}^2}$$

Бұл жерде:

$$H = \frac{5,2 \cdot E_1 \cdot IL}{l^2};$$

$$M = \frac{M_0}{I + L};$$

$$L(1 + L^2) = 3 \left( \frac{f_0}{l_0} \right)^2;$$

$$A = 1 \cdot t = 1 \text{ см}^2$$

$$W = \frac{1 \cdot t^3}{6} = \frac{1}{6} \text{ см}^3;$$

$$L = \frac{1 \cdot t^3}{12} = \frac{1}{12} \text{ см}^4;$$

$$E_1 = 2,26 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Егер стрингерлердің арақашықтықтары 65 см кіші болса, онда болат қаптаудың орнықтылықтары қамтамасыз етіледі.



## ӘДЕБИЕТ

1. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1. Элементы конструкций: Учеб. для строит. вузов / Под ред. В.В. Горева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 551 с.: ил.
2. Бирюлев В.В., Кошин И.И., Сильвестров А.В. Проектирование металлических конструкций. – Л.: Стройиздат, 1990.
3. Металлические конструкции. / Под ред. Белени Е.И. – М.: Стройиздат, 1986.
4. Металлические конструкции. / Под ред. Веденикова Г.С. – М.: Стройиздат, 1998.
5. Металлические конструкции (справочник проектировщика). В 3 т. / Под ред. Кузнецова В.В. – М.: Стройиздат, 1998.
6. Полонский Г.А. Механическое оборудование гидротехнических сооружений. – Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1982 – 352 с., ил.
7. Металлические гидротехнические затворы в оросительных системах: Уч. пособие / Б.А. Алимбаев – Ташкент: ТИИИМСХ, 1988.
8. ГОСТ 27751-88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. – М.: Стройиздат, 1998.
9. ҚР ҚНЖЕ 5.04-23-2002. Болат құрылымдар. – Астана-2003.
10. СНиП 2.01.07 – 85\*. Нагрузки и воздействия. – М.: Стройиздат, 1996.
11. СНиП II-23. – 81\*. Стальные конструкции. – М.: Стройиздат, 1998.
12. СНиП 2.03.06 – 85. Алюминиевые конструкции. – М.: Стройиздат, 1986.

## МАЗМҰНЫ

|   |     |
|---|-----|
| КІРІСПЕ.....  | 3   |
| ЖАЛПЫ МАҒЛУМАТТАР .....   | 4   |
| 1. МЕТАЛЛ КОНСТРУКЦИЯЛАР НЕГІЗДЕРІ .....  | 10  |
| 1.1. Құрылыс металл конструкциялары материалдарының жұмыс істеуі және қасиеттері .....  | 10  |
| 1.1.1. Болаттар және алюмин қорытпалары .....   | 10  |
| 1.1.2. Жүктелген болаттың жұмыс істеуі.....   |     |
| 1.2. Металл конструкцияларын есептеу негіздері .....  | 30  |
| 1.2.1. Металл конструкцияларды есептеудің негізгі жағдайлары ...  | 30  |
| 1.2.2. Жүктер мен әсерлер .....   | 33  |
| 1.2.3. Материалдардың мөлшерлі және есепті қарсыласулары  | 35  |
| 1.2.4. Арнайы сенімділік коэффициенттері .....  | 37  |
| 1.3. Конструкция элементтерінің жүк әсерінен жұмыс істеуі және есептелуі .....  | 38  |
| 1.3.1. Кернеулердің түрлері және оларды металл конструкцияларының элементтерін есептеу кезде ескеру .....                     | 38  |
| 1.3.2. Созылымдылық шарты. Конструкцияларды есептегенде созылымдылық деформацияның дамуын ескеру.....                         | 40  |
| 1.3.3. Центрден созылатын элементтердің шекті жағдайлары және есептелулері .....  | 42  |
| 1.3.4. Иілген элементтердің шектік жағдайлары мен есептелулері .  | 42  |
| 1.3.5. Өстік сығатын күш әсер ететін шыбықтардың шекті жағдайлары және есептелуі.....   | 50  |
| 1.3.6. Центрден тыс созылған және центрден тыс сығылған элементтердің шектік жағдайлары және есептеулері .....                | 53  |
| 1.3.7. Элементтердің жергілікті орнықтылығын тексеру.....   | 61  |
| 1.3.8. Жүктер қайталана әсер ететін металл конструкциялар элементтерінің шектік жағдайларының есептелуі шаршауды тексеру..... | 65  |
| 1.3.9. Болат конструкциялар элементтерінің мортсынғыштығын ескере беріктікке есептеу.....                                     | 66  |
| 1.3.10. Сортамент.....  | 67  |
| 1.4. Металл конструкцияларын біріктіру.....   | 69  |
| 1.4.1. Пісіріп біріктіру .....  | 69  |
| 1.4.2. Болтты және тойтарма шегелі біріктірулер .....   | 87  |
| 2. МЕТАЛЛ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫҢ НЕГІЗГІ ЭЛЕМЕНТТЕРІ.....  | 105 |
| 2.1. Арқалықтар түрі.....   | 105 |
| 2.1.1. Арқалықты конструкцияларды жинақтау.....   | 106 |
| 2.2. Арқалықтар торының төсемдері.....  | 108 |
| 2.3. Прокатты арқалықтар.....   | 111 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 2.3.1  | Прокатталған арқалықтардың қимасын табу және олардың көтеру мүмкіндігін тексеру.....                        | 112 |
| 2.3.2  | Арқалықтардың қатандығын тексеру.....   | 115 |
| 2.3.3  | Кесілмеген және қатаң бекітілген арқалықтар материалдарының созылымдылық сатыдағы жұмыс істеуін ескеру..... | 119 |
| 2.3.4. | Құрама қималы арқалықтың қимасын таңдау және жинақтау.....  | 121 |
| 2.3.5  | Арқалықтың қимасын таңдау.....  | 126 |
| 2.3.6  | Арқалық қимасын ұзындығы бойынша өзгерту.....   | 130 |
| 2.4.   | Құрама қималы арқалықтың беріктігі, орнықтылығы мен иілу мөлшері .....                                      | 134 |
| 2.4.1. | Арқалықтың беріктігі мен иілу мөлшері.....  | 134 |
| 2.4.2. | Арқалықтың жалпы орнықтылығын тексеру және қамтамасыз ету .....   | 135 |
| 2.4.3. | Арқалық элементтерінің жергілікті орнықтылығын тексеру және қамтамасыз ету.....                             | 137 |
| 2.5.   | Құрама қималы арқалықтың конструкцияларын жобалау .....   | 145 |
| 2.5.1  | Арқалық белдеулерінің қабырғамен бірігуі.....   | 145 |
| 2.5.2  | Арқалықтардың түйісулері.....   | 147 |
| 2.5.3  | Арқалықтардың тірелулері және жалғасулары.....  | 148 |
| 3.     | ҰСТЫНДАР.....   | 152 |
| 3.1.   | Жалпы сипаттамалары.....  | 152 |
| 3.2.   | Тұтас ұстындар.....   | 153 |
| 3.3.   | Салалы ұстындар.....  | 154 |
| 3.4.   | Салалы ұстын шыбығының орнықтылығына тордың әсері ...   | 155 |
| 3.5.   | Ұстындардың қималарын таңдау.....   | 161 |
| 3.5.1  | Есепті сұлбаны таңдау.....  | 161 |
| 3.5.2  | Ұстын қимасын таңдау.....   | 161 |
| 3.5.3  | Тұтас ұстын шыбықтарының қимасын таңдау және конструктивтік жинақтау.....                                   | 161 |
| 3.5.4  | Ұстын шыбығының конструктивтік әрленуі.....   | 165 |
| 3.5.5  | Салалы ұстынның қимасын таңдау.....   | 169 |
| 3.5.6  | Тақтайшалы торды есептеу.....   | 170 |
| 3.6    | Ұстынның негізі.....  | 176 |
| 3.6.1  | Негіздің түрлері мен конструктивтік ерекшеліктері .....   | 176 |
| 3.6.2  | Траверсалы негіздің конструктивтік әрленуі және есептелінуі .....   | 177 |
| 4.     | ФЕРМАЛАР .....  | 179 |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 4.1.  | Ферма жүйелері мен құрылыс конструкцияларындағы пайдалану облыстары.....   | 179 |
| 4.2.  | Ферма конструкцияларын жинақтау.....                                       | 180 |
| 4.2.1.  | Ферманың сұлбасын анықтау.....   | 180 |
| 4.2.2.  | Ферманың бас өлшемдері.....  | 181 |
| 4.2.3.  | Ферма торлар жүйелері және олардың сипаттамалары.....                      | 185 |
| 4.2.4.  | Ферма түйін белдеулері.....  | 188 |
| 4.2.5.  | Фермалар орнықтылығы. Байланыстар.....                                     | 188 |
| 4.2.6.  | Ферманың геометриялық өлшемдерін модульдеу және ыңғайландыру.....          | 189 |
| 4.2.7.  | Құрылыстық көтеру.....   | 190 |
| 4.3.  | Ферманың жұмыс істеуі және есептелуі .....                                 | 191 |
| 4.3.1.  | Есепті жүкті анықтау.....  | 191 |
| 4.3.2.  | Ферма шыбықтарындағы ішкі күштерді анықтау .....                           | 192 |
| 4.3.3.  | Ферманың жүктегендегі жұмыс істеу ерекшеліктері .....                      | 194 |
| 4.4.  | Сығылған шыбықтардың есепті ұзындықтары және шекті иілгіштіктері .....     | 195 |
| 4.4.1.  | Сызылған шыбықтардың есепті ұзындықтарын анықтау.....                      | 195 |
| 4.4.2.  | Шекті иілгіштіктер .....   | 196 |
| 4.5.  | Ферма шыбықтарының қима түрлері .....                                      | 197 |
| 4.6.  | Жеңіл фермалар шыбықтарының қимасын таңдау.....                            | 199 |
| 4.6.1.  | Жалпы ұсыныстар.....   | 199 |
| 4.6.2.  | Сығылған шыбықтардың қимасын таңдау.....                                   | 200 |
| 4.6.3.  | Шектік иілгіштік бойынша қима таңдау.....                                  | 201 |
| 4.6.4.  | Созылған шыбықтардың қимасын таңдау .....                                  | 201 |
| 4.6.5.  | Бойлық күш пен иілу моменті әсер ететін шыбықтар қимасын таңдау.....       | 202 |
| 4.7.  | Жеңіл фермалар конструкциялары.....  | 203 |
| 4.7.1.  | Бір бұрышты фермалар.....  | 203 |
| 4.7.2.  | Қос бұрышты фермалар .....   | 204 |
| 5.  | Гидротехникалық құрылыстағы металл конструкцияларды даярлау негіздері..... | 205 |
| <b>ҚОСЫМШАЛАР</b> .....   |  |     |
| Қосымша 1. Ыстықтай тартылған профильдер. МЕСТ 8509 – 93 бойынша болат ыстықтай тартылған тең сөрелі бұрыштар ..... |  |     |
| Қосымша 2. МЕСТ 8510 – 86 бойынша болат ыстықтай тартылған тең емес сөрелі бұрыштар. ....                           |  |     |

|  |  |
|--|--|
| Қосымша 3. Ыстықтай тартылған болат, МЕСТ 8240 – 93 бойынша швеллерлер.....  |  |
| Қосымша 4. Ыстықтай тартылған болат, МЕСТ 8239 – 89 бойынша қоставрлы арқалықтар. ....   |  |
| Қосымша 5. МЕСТ 26020 – 83 бойынша ыстықтай тартылған болаттан жасалған сөрелерінің параллельді қырлары бар қоставрлар.  |  |
| Қосымша 6. ССТ АСЧМ 20 – 93 бойынша ыстықтай тартылған болаттан жасалған сөрелерінің параллельді қырлары бар қоставрлар.   |  |
| Қосымша 7. МЕСТ 8278 – 83* бойынша болат майыстырылған тең сөрелі швеллерлер .....   |  |
| Қосымша 8. МЕСТ 8282 – 83* бойынша болат майыстырылған С – тәріздес тең сөрелі профильдер .....  |  |
| Қосымша 9. МЕСТ 25577 – 83* бойынша болат майыстырылған тұйықталған пісірілген тікбұрышты профильдер .....   |  |
| Қосымша 10. МЕСТ 25577 – 83* бойынша болат майыстырылған тұйықталған пісірілген квадрат профильдер .....   |  |
| Қосымша 11. ТУ 36 – 2287 – 80 бойынша майыстырылған тұйықталған пісірілген тікбұрышты профильдер (өзгертумен №2) ....  |  |
| Қосымша 12. ТУ 36 – 2287 – 80 бойынша майыстырылған тұйықталған пісірілген квадрат профильдер (өзгертумен №2) .....  |  |
| Қосымша 13. МЕСТ 10704 – 91 бойынша болат электрлі пісірілген тұзу жікті құбырлар .....  |  |
| Қосымша 14. Ғимараттар мен құрылымдардың болат конструкцияларына арналған МЕСТ 27772 бойынша жазық беттік, кең жолақты әмбебап және фасонды прокаттың созылудағы, сығылудағы және иілудегі нормативтік және есептік қарсыласуы ..... |  |
| Қосымша 15. Бүйірлік беттің мыжылуына, цилиндрлік топсалардың жергілікті мыжылуына, сырғымалардың диаметральді сығылуына прокаттың есепті қарсыласуы .....   |  |
| Қосымша 16. Центрден сығылған элементтердің бойлық иілуінің $\varphi$ коэффициенттері .....  |  |
| Қосымша 17. Қима формасының әсері $\eta$ коэффициенттері .....   |  |
| Қосымша 18. Симметрия жазықтығымен сәйкес келетін момент әсер ететін жазықтықта центрден тыс сығылатын (сығылып - иілетін) түгел қабырғалық стерженьдерді орнықтылыққа тексеруге арналған $\varphi_e$ коэффициенттері .....          |  |
| <b>ӘДЕБИЕТ</b> .....   |  |