

Утеплювач та гідроізоляцію покрівлі укладають на несучу оболонку, не застосовуючи покрівельних плит.

Оболонки-мембрани можуть мати найрізноманітнішу форму: циліндричну, сферичну, шапоподібну, сідловидну, шатрову. Залежно від прольоту товщина листів коливається в межах 2 ... 5 мм.

Набули поширення покриття у вигляді сідловидних напружених сіток, в яких ванти розташовані у вигляді перехресної системи. Стабілізуючі ванти попередньо напружені. Іноді застосовують зігнені опірні кільця.

## 9. НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ ВИСОТНИХ СПОРУД

### 9.1. Призначення, класифікація й особливості роботи висотних споруд

Висотними називають споруди, висота яких набагато перевищує їх розміри у поперечному напрямі. Це опори антенних споруд зв'язку, опори ЛЕП, вентиляційні та димові труби, маяки, водонапірні башти.

Найчастіше використовують споруди типу башт і щогл. Башта - висотна споруда, жорстко закріплена в основі. Щогла - висотна споруда, жорсткість якої забезпечена системою відтяжок. Можливі комбіновані системи.

Головним навантаженням на висотні споруди є вітер. Вітрове навантаження залежить не тільки від швидкісного напору, а й від форми та габаритів споруди.

Іноді вирішальними можуть бути ожеледні навантаження матч і щогл. В окремих випадках ураховують і температурні впливи.

### 9.2. Проектування башт

Металеві башти будують в основному з труб висотою до 400 м і більше (рис. 56). У плані вони 6 - чи 8 - гранні. Вони бувають суцільні або скрізні. При проектуванні намагаються довести вітрове навантаження до мінімуму.

Зусилля в башті визначають як у просторовій статично визначеній системі. Прогин визначають як у консольній балці. Типові башти збирають із секцій, об'єднуючи їх на фланцях. Монтаж башт проводять нарощуванням за допомогою повзучих кранів. Іноді їх складають на землі та піднімають методом "падаючої стріли".

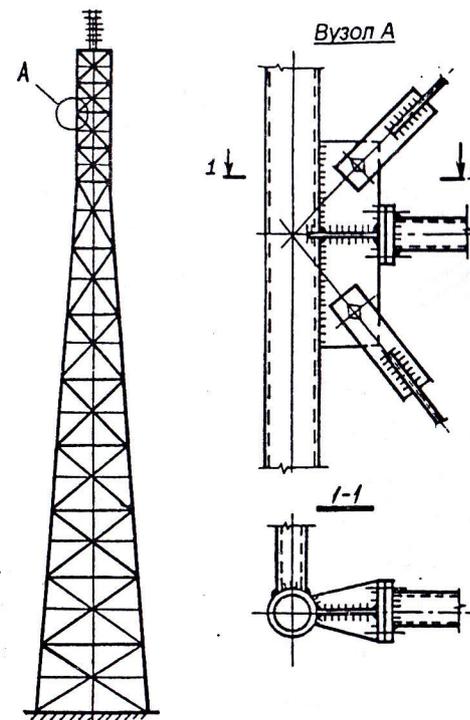


Рис. 56. Загальна схема та вузли типової ґратчастої башти

### 9.3. Проектування щогл

Щогли економічніші, ніж башти, особливо при висоті понад 150 м. Вони складаються із стовбура, який обпирається на фундамент, і відтяжок, прикріплених до анкерів.

Стовбури роблять ґратчастими. Відстань між кріпленнями відтяжок - не більше 40 b (b - ширина грані). Для тригранних щогл у плані приймають 3 відтяжки, а для прямокутних - 4.

Будують щогли висотою 400 м і більше. Щоглу складають з окремих частин, з'єднують їх на фланцях (рис. 57).

Для визначення зусилля у відтяжках щоглу розглядають як систему балок, що шарнірно опираються в місцях кріплення вант і сприймають навантаження від впливу вітру, який діє в напрямі однієї відтяжки.

Навчальний посібник із курсу "Металеві конструкції" для студентів спеціальностей "Архітектура будівельних споруд", "Містобудування", "Дизайн архітектурного середовища" (7.120101; 7.120102; 7.120103) усіх форм навчання. - Полтава: Полтавський державний технічний університет імені Юрія Кондрачука, 1999. - 59 с.

Укладачі: Леонід Іванович Стороженко, д-р техн. наук, проф.,  
Валерій Іванович Барбарський, канд. техн. наук, доц.,  
Сергій Вікторович Шкіренко, канд. техн. наук, доц.

Рецензент професор, д.т.н. Вахненко П.Ф.

Відповідальний за випуск - завідувач кафедри КМДіП д-р техн. наук,  
проф. Пічугін С.Ф.

2.1.2. Свейшик  
5.904 Фимменшов  
5.02.08 Каленя  
2.305 Ченша Оєд  
6.06.03 Доганян  
12.08.09 Смигирева  
280410 Круглова  
310311 Цимбал  
157012 Скоренко

ету  
авця 1999р.

## ЗМІСТ

ВСТУП	
Історія розвитку металевих конструкцій.....	3
Галузь застосування металевих конструкцій. Їх переваги та недоліки.....	4
Вимоги до сталевих конструкцій і перспективи їх розвитку.....	5
<b>1. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ</b>	
1.1. Структура та класифікація конструкційних сталей.....	6
1.2. Марки і якість алюмінієвих сплавів.....	7
1.3. Сортамент сталевих та алюмінієвих профілів.....	8
1.4. Робота сталі у випадку статичного навантаження.....	9
<b>2. ОСНОВНІ РОЗРАХУНКИ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ</b>	
2.1. Розвиток методів розрахунку будівельних конструкцій.....	10
2.2. Нормативні і розрахункові характеристики матеріалів та навантажень.....	11
2.3. Робота й граничні стани зігнутих елементів.....	12
2.4. Робота і розрахунок центрально розтягнутих та центрально стиснутих елементів.....	14
2.5. Розрахунок позациентрово стиснутих елементів.....	15
<b>3. З'ЄДНАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ</b>	
3.1. Загальні відомості про зварювання сталевих елементів.....	16
3.2. Типи зварних з'єднань.....	17
3.3. Розрахунок стикових швів.....	18
3.4. Розрахунок кутових швів.....	19
3.5. Загальні відомості про болтові з'єднання.....	20
3.6. Розрахунок болтових з'єднань.....	21
<b>4. КОНСТРУКЦІЯ БАЛКОВИХ КЛІТОК</b>	
4.1. Загальні відомості про балкові клітки.....	23
4.2. Розрахунок балок прокатного профілю.....	24
4.3. Особливості проектування складених балок.....	25
4.4. Конструювання складених балок.....	26
4.5. Загальні відомості про центрально стиснені колонни.....	28
4.6. Підбір перерізів центрально стиснутих колон.....	29
4.7. Конструювання центрально стиснутих колон.....	31
<b>5. СТАЛЕВІ ФЕРМИ</b>	
5.1. Класифікація та компоновка сталевих ферм.....	33
5.2. Типи, добір перерізів стрижнів легких ферм.....	34
5.3. Конструювання вузлів сталевих ферм.....	36
5.4. Особливості проектування ферм з труб і гнutoзамкнених профілів.....	37
<b>6. КОНСТРУКЦІЯ ОДНОПОВЕРХОВИХ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ</b>	
6.1. Призначення, типи, кранове устаткування та вимоги до каркасів виробничих будівель.....	38
6.2. Вертикальні і горизонтальні в'язі між колонами і покриттям.....	39
6.3. Конструкція та компоновка сталевих рам ОБВ.....	40
6.4. Основні елементи покриттів ОБВ.....	41
6.5. Типи колон ОБВ та галузь їх раціонального застосування.....	43
6.6. Добір перерізу позациентрово стиснутих колон.....	43
6.7. Конструкція та розрахунок баз колон ОБВ.....	44
<b>7. ЛИСТОВІ КОНСТРУКЦІЇ</b>	
7.1. Призначення, класифікація та особливості роботи листових конструкцій.....	45
7.2. Бункери й силоси.....	46
7.3. Резервуари.....	47
7.4. Газгольери.....	47
<b>8. КОНСТРУКЦІЯ ВЕЛИКОПРОЛІТНИХ БУДІВЕЛЬ</b>	
8.1. Галузь застосування і класифікація великопролітних покриттів.....	48
8.2. Балкові та рамні конструкції великопролітних покриттів.....	49
8.3. Структурні покриття.....	50
8.4. Аркові конструкції великопролітних покриттів.....	51
8.5. Типи й особливості роботи висячих конструкцій.....	53
8.6. Однопоясні та двопоясні висячі системи.....	54
8.7. Мембранні покриття й перехресні системи.....	54
<b>9. НЕСУЧІ КОНСТРУКЦІЇ ВИСОТНИХ СПОРУД</b>	
9.1. Призначення, класифікація й особливості роботи висотних споруд.....	55
9.2. Проектування башт.....	55
9.3. Проектування шогл.....	56
9.4. Особливості проектування каркасів висотних будівель.....	57
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>58</b>



## ВСТУП

### Історія розвитку металевих конструкцій

Перше значне застосування металу в будівництві - колона в Делі (Індія), збудована в III ст. (h=8 м, вага 6 т.). У Китаї в X ст. була побудована 13 - поверхова пагода із використанням металевого каркаса. В Київській Русі, в Росії метал застосовувався при будівництві церковних склепінь у вигляді затяжок. У Стародавній Греції з'єднували окремі кам'яні блоки двоххвостовими пластинами.

Починаючи з XVII століття з'являються металеві крокви та металеві купольні конструкції - "кошки" для церков (Храм Василя Блаженого (1556 - 1692 рр.), дзвіниця "Іван Великий" (1600 р.)). Перекриття трапезної Троїце - Сергієвої Лаври (1686 - 1692 рр.) мало проліт 18 м.

На XVIII ст. припадає бурхливий розвиток чорної металургії, коли почали використовувати чавунні конструкції. Були збудовані перекриття башти Нев'янського заводу на Уралі (1725 р.). У 1850 р. збудували міст через Неву з чавунних арок прольотом до 80 м. Перекрито за проектом Росії глядацький зал Александринського театру, за проектом Монферана купол Ісакієвського собору прольотом 22 м (1842 р.). В Англії в 1851 р. було побудовано Кришталевий палац довжиною 563 м, шириною 124, 5 м.

Револуцією в металобудівництві була поява металопрокату (1820 р., Англія). Із застосуванням прокатних профілів Вороніхін збудував купол Казанського собору (проліт 18 м), перекриття в Зимовому палаці (церква - проліт 13 м, Георгіївський Тронний зал - проліт 21, 3 м).

У другій половині XX ст. почалося бурхливе будівництво залізниць, мостів, це привело до подальшого розвитку металургії. Д. І. Журавський розробив теорію розрахунку ферм, вивів формулу  $\tau = Q S / I t$ , побудував у 1858 р. шпиль Петропавловського собору висотою 48, 5 м. М. О. Белелюбський збудував велику кількість залізничних мостів, є автором російського сортаменту.

Принципове значення мав винахід у 1882 р. М. М. Бенардосом електрозварювання.

У 1889 р. була побудована Ейфелева вежа висотою 300 м. Почали будувати каркаси виробничих будівель, перекриття громадських будівель.

В Україні широко застосовувався метал при будівництві промислових будівель у Донбасі, Дніпропетровську, Дніпродзержинську, Маріуполі. В Києві, Одесі, Львові в кінці XIX ст. за допомогою металу перекриті перші театри.

На початку XX ст. побудовані несучі конструкції Бесарабського ринку в Києві, дебаркадер Львівського залізничного вокзалу.

У XX столітті металобудівництво розвивалось дуже активно. Це промислове будівництво, висотні будівлі та споруди, великопролітні конструкції громадських і виробничих будівель, мости, листові й спеціальні конструкції. В СРСР розвиток металокаркасних конструкцій штучно затримувався через активне застосування залізобетону.

На сьогоднішній день найвища сталева споруда - телевізійна башта в Торонто (600 м), в Україні - телевізійна башта в Києві (400 м). Розроблено проект телевізійної щогли висотою в 4000 м. Найвища каркасна будівля в 150 поверхів побудована в Чикаго, висота 510 м. Розроблено проект 240 - поверхової будівлі висотою 980 м.

Найбільший у світі міст прольотом 1410 м побудовано через затоку Хамбер у Англії. Розроблено проект мосту через Мессінську протоку з прольотом 3000 м.

#### Галузі застосування металевих конструкцій. Їх переваги та недоліки

З металу (сталь, алюмінієві сплави) виконуються несучі конструкції покрить та перекрить (ферми, балки, арки, структурні системи, мембрани), зв'язі між несучими конструкціями, каркаси будівель і споруд у цілому.

Особливість металокаркасних конструкцій полягає в тому, що всі вони виконуються з готових прокатних профілів (листи, кутики, швелери, двотаври).

Як правило, металеві конструкції мають великі прольоти, висоти, сприймають великі навантаження.

Металокаркасні конструкції можна розподілити на три великі групи:

1. Несучі конструкції, що утворюють основний каркас будівлі.
2. Огороджувальні конструкції, що виконують тепло-, волого- і звукоізоляційні властивості.
3. Допоміжні конструкції - сходи, майданчики і т. п.

Металеві конструкції застосовуються:

- в покриттях спортивних і глядацьких споруд (прольоти 50 ÷ 300 м, ринки, вокзали, ангари, гаражі, виробничі будівлі);

- у каркасах висотних будівель;
- у мостах;
- у баштах і щоглах;
- у листових конструкціях;
- у спеціальних спорудах.

Переваги металевих конструкцій.

1. Велика відносна міцність металу

$$C = \rho / R_y.$$

Для сталі  $C = 3,7$ ; для дюралюмінію  $C = 1,1$ ; для бетону  $C = 18,5$ ; для деревини  $C = 5,4$ .

2. Надійність. Метал має однорідну структуру. Його якості реально відповідають розрахунковим передумовам.

3. Індустріальність. Металеві конструкції виготовляють на сучасних високоавтоматизованих заводах.

4. Легкість розборки у випадку необхідності.

5. Непроникливість для газів та рідин.

Недоліки.

1. Підвищена корозія. Засоби боротьби: легуючі добавки, фарбування, надання раціональної форми.

2. Мала вогнестійкість. При  $t = 600$  °С сталь тече.

**Вимоги до сталевих конструкцій та перспективи їх розвитку**

Вимоги:

- відповідність умовам експлуатації;
- економія металу;
- транспортабельність;
- технологічність;
- довговічність;
- естетичність.

Основні напрями розвитку:

- використання високоміцних матеріалів;
- пошук нових конструкційних форм;

- уніфікація конструкцій та їх елементів;
- автоматизація виготовлення, індустріальність монтажу.

## 1. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

### 1.1. Структура та класифікація конструкційних сталей

Якість сталі, що застосовується в будівництві, визначається наступним:

- механічними властивостями: межа плинності і тимчасовий опір динамічним навантаженням та ін.;
- зварюваність, що залежить від хімічного складу;
- корозійна стійкість.

За механічними властивостями сталі підрозділяються на три групи:

- звичайної міцності (маловуглецеві);
- підвищеної міцності;
- високої міцності.

Основа сталі - ферит. Він має малу міцність і високу плинність, тому в чистому вигляді не застосовується. Міцність фериту підвищується завдяки добавкам вуглецю (маловуглецеві сталі), легуванням марганцем, кремнієм, ванадієм, хромом і т.ін. (низьколеговані сталі підвищеної міцності); легуванням та термічним зміцнюванням (сталі високої міцності).

При легуванні застосовують: вуглець (У), кремній (С), алюміній (Ю), марганець (Г), мідь (Д), молібден (М), азот (А), хром (Х), ванадій (Ф), вольфрам (В), титан (Т).

Є шкідливі домішки, що погіршують якість сталі: фосфор, сірка. Якості сталі поліпшуються завдяки термічній обробці (нормалізація та гартування). Шкідливо впливають гази, що можуть попадати в сталь у момент, коли вона знаходиться в рідкому стані. Залежно від способу виготовлення розрізняються сталі: киплячі, напівспокійні, спокійні.

Якщо сталь унаслідок виділення газів кипить, коли її розливають, то таку сталь називають киплячою. Вона має неоднорідну структуру. Для підвищення якості в рідку сталь добавляють кремній або алюміній у вигляді порошку, така сталь не кипить при розливі і називається спокійною. Її застосовують при зведенні відповідальних споруд. Напівспокійна сталь займає проміжне становище за своїми фізично - механічними характеристиками.

У будівництві застосовують маловуглецеві сталі марок Ст.3 та Ст.3пс ( $\sigma_y$  - 185 - 290 МПа, сталі С235 - С295).

Ст.3 (кипляча, спокійна та напівспокійна) залежно від призначення постачається за 3 - ма групами:

А - за механічними якостями;

Б - за хімічним складом;

В - за механічними якостями та хімічним складом.

Для несучих конструкцій постачається сталь за групою В (В Ст.3)

У сталі Ст.3Гпс підвищено вміст марганцю. Вуглецю в сталі до 0, 22 %.

Сталі підвищеної міцності утворюються при легуванні або при термічній обробці,  $\sigma_y = 285 - 390$  МПа. Наприклад, В Ст 3Гпс - термічно оброблена (С285 - С390).

Низьколеговані сталі мають позначення: 10Г 2С, тут 0, 1 % вуглецю; до 2 % марганцю; до 1 % кремнію, 14Г2АФ - до 0,14 % вуглецю; до 2 % марганцю; до 1 % відповідно азоту і ванадію. Межа плинності цієї сталі 285 - 390 МПа (С 440 - С 590).

Сталі високої міцності мають позначення: 16Г2АФ т.о., 12ГН2МФАЮ т.о.

Використання високоміцних сталей дає економію матеріалу до 25-30%.

У конструкціях, на які впливає атмосферна корозія, застосовуються сталі з домішками хрому, нікелю, міді. В мембранах використовуються нержавіючі сталі з домішками фосфору.

Марку сталі обирають в результаті варіантного проектування відповідно до СНиП 2-23-81\*. Бажано в одній конструкції використовувати мінімальну кількість марок сталей і профілів. На вибір марки сталі впливають:

- температура середовища;
- характер навантаження (статичні, динамічні, вібраційні навантаження);

- види напруженого стану (згин, стиснення).

### 1.2.Марки і якість алюмінієвих сплавів

Для виготовлення металевих конструкцій можуть застосовуватись алюмінієві сплави. Щільність алюмінію  $\rho = 2,7$  г/м<sup>3</sup> (майже в 3 рази менше ніж у сталі). Модуль пружності 71000 МПа, що також в 3 рази менше. Чистий алюміній має малу міцність (60 - 70 МПа), тому в будівництві не застосовується.

Як добавки, що підвищують міцність алюмінію, використовують магній, марганець, мідь, кремній, цинк та ін. Міцність підвищується в 2 - 5 разів. Застосовуються термічно зміцнені сплави, а також сплави, зміцнені методом гартування.

Алюмінієві елементи можна з'єднувати за допомогою електрозварювання. Конструкції з алюмінієвих сплавів мають багато переваг: мала маса, стійкість проти корозії, холодостійкість, антимагнітність. Але вони є набагато дорожчими.

### 1.3.Сортамент сталевих і алюмінієвих профілів

Прокатна сталь - первинний елемент сталевих конструкцій. Вона підрозділяється на 2 групи: сталь листова і сталь профільна. Сортаментом називають перелік прокатних профілів з наведенням форми, геометричних характеристик, маси й ін. (рис.1).

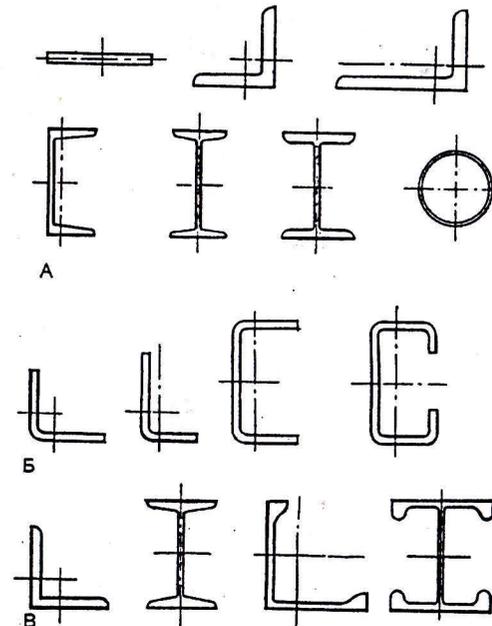


Рис.1.Основні види профілів:А-прокатні; Б-гнуті; В-з алюмінієвих сплавів.

Вартість прокатних профілів різна. Найдешевшими є двтаври і швелери

Листова сталь буває товстолиста (4 - 160 мм), тонколистова (до 4 мм) та універсальна (4 - 60 мм, ширина до 1050 мм).

Кутики рівнобічні і нерівнобічні виготовляють з перерізом 1 - 140 см<sup>2</sup>. Швелери мають № від 5 до 40.

Двотаври - основний балочний профіль. Звичайні двотаври мають профілі від №10 до №60. Широкополочні двотаври виробляються до №100. Їх раціонально застосовувати у вигляді самостійних конструкцій.

Труби виготовляють діаметром до 1620 мм. Зараз широко застосовують холодногнути профілі з листа 1-8мм. Вони застосовуються для легких покриттів.

Профілі з алюмінієвих сплавів отримують методом прокату, пресування або литва. Іноді виготовляють перерізи "з бульбами" на кінцях полиць.

#### 1.4. Робота сталі у випадку статичного навантаження

Сталь складається з хаотично орієнтованих монокристалів, які мають дефекти. Пластичний стан виникає в місцях дії дотичних напружень, де є найбільша кількість дефектів.

У твердих сталей немає площадки плинності.  $\sigma_y$  відповідає  $\epsilon = 0,2\%$ . У всіх нормативних документах наведені важливі характеристики сталі:  $R_y$  - межа плинності,  $R_u$  - тимчасовий опір,  $R_y/R_u = 0,6$  (рис.2).



Рис.2. Діаграма розтягнення сталі

Важливою характеристикою є модуль пружності  $E = \delta/\epsilon = \text{tg} \alpha$ .

Для сталі  $E = 2,06 \times 10^5 \text{ МПа}$ . У місцях послаблень (отвори, надрізи, потовщення) лінії силового потоку викривляються, створюється концентрація напружень (рис.3). Відношення максимальних напруг у місцях концентрації до рівно розподілених напружень називають коефіцієнтом концентрації. Він коливається в межах 2-9 залежно від форми отвору.

Під час роботи в пружній стадії повторне навантаження не позначається на роботі матеріалу, а в пружно-пластичній воно приводить до накопичення пластичних деформацій (рис.4). Під час багаторазового завантаження виникає явище втоми металу, що полягає в зниженні його міцності. Зниження міцності залежить від виду та величини навантаження і може досягти 50 %.

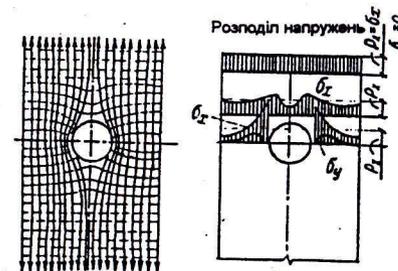


Рис.3. Концентрація напружень біля місць різкої зміни форми елементів

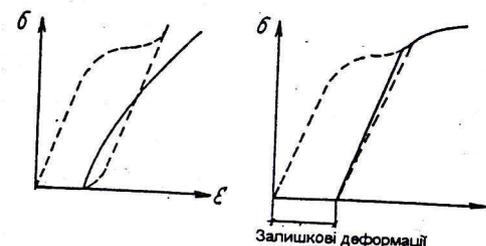


Рис.4. Діаграма деформування сталі під час повторних навантажень

## 2. ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

### 2.1. Розвиток методів розрахунку будівельних конструкцій

Довгий час металеві конструкції розраховували за допустимими напруженнями. Цей метод має суттєві недоліки, тому в 50-ті роки був розроблений метод розрахунку за граничними станами.

Граничні стани - це такі стани, коли конструкції перестають задовольняти задані експлуатаційні вимоги.

У будівельних конструкціях ураховують дві групи граничних станів:

перша група - за втратою несучої здатності чи повної непридатності до експлуатації (руйнування, втрата стійкості);

друга група - ускладнення нормальної експлуатації (недопустимі прогини).

Граничні стани першої групи перевіряють на максимальні (розрахункові) навантаження, другої групи - на нормативні навантаження.

У загальному вигляді формула для розрахунку конструкцій за першою групою граничних станів має вигляд:

$$F \leq S,$$

де  $F$  - найбільше можливе під час експлуатації зусилля;

$S$  - найменша гранична несуча здатність елемента.

Для другої групи граничних станів

$$f \leq f_u,$$

де  $f$  - переміщення конструкцій від дії експлуатаційних навантажень;

$f_u$  - граничне переміщення згідно з нормами.

## 2.2. Нормативні і розрахункові характеристики матеріалів і навантажень

Залежно від тривалості дії навантаження поділяють на постійні і тимчасові. Постійні - вага частин будівель, попереднє напруження. Тимчасові навантаження розподіляють на тривалі, короткочасні та особливі. Тривалі - вага стаціонарного устаткування, навантаження на перекриття житлових і громадських будівель. Короткочасні - атмосферні (сніг, вітер) навантаження на перекриття житлових і громадських будівель. Особливі - сейсмічні, навантаження від просідання ґрунтів.

Зазначені навантаження наведені в СНиП.

Для снігу

$$S = S_0 \mu,$$

де  $S_0$  - вага снігового покриву на  $1 \text{ м}^2$ ;

$\mu$  - коефіцієнт переходу від ваги на горизонтальній поверхні до похилої покрівлі.

Нормативне значення вітрового тиску:

$$W_0 = 0,61 V_0^2,$$

де  $V_0$  - швидкість вітру на висоті 10 м.

Нормативне значення навантажень:

$$W_m = W_0 K C,$$

де  $K$  - коефіцієнт, який ураховує зростання навантаження на висоті;

$C$  - аеродинамічний коефіцієнт.

Для визначення розрахункових значень навантажень нормативні значення помножують на коефіцієнт надійності  $\gamma_f$ . Для власної ваги металевих конструкцій  $\gamma_f = 1,05$ , для снігу  $\gamma_f = 1,4$ ; для власної ваги залізобетонних конструкцій  $\gamma_f = 1,1$ .

На конструкцію відразу діють кілька навантажень, тому їх сума помножується на коефіцієнт комбінації  $\Psi = 0,95 \dots 0,8$ .

Розрахункові опори сталі визначають так: поділяють опір на коефіцієнт надійності матеріалу  $\gamma_m$ .

$$R_y = R_{yn} / \gamma_m; \quad R_u = R_{un} / \gamma_m.$$

$\gamma_m$  - ураховує можливе зменшення міцності сталі в конструкції і змінюється в межах  $1,05 \dots 1,15$ .

Розрахунковий опір при зсуві

$$R_s = 0,58 R_{yn} / \gamma_m.$$

## 2.3. Робота й граничні стани зігнутих елементів

Зігнуті елементи розраховують за двома групами граничних станів: руйнування та досягнення граничних переміщень.

Зігнуті елементи працюють у межах пружності або з урахуванням розвитку пластичних деформацій (рис.5).

Нормальні напруження

$$\sigma = \frac{M}{W}.$$

$$\tau = \frac{QS}{It}$$

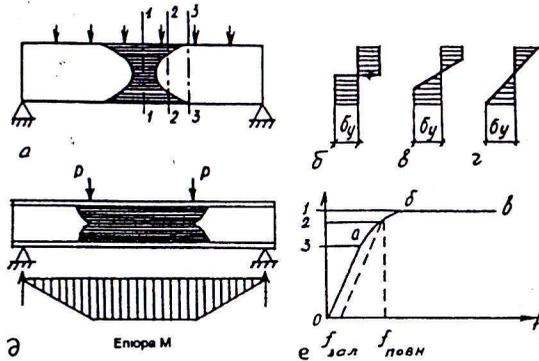


Рис.5.Схема роботи зігнутого елемента під навантаженням

У випадку коли елемент працює з урахуванням пластичних деформацій:

$$\sigma = \frac{M}{W_{пл}^*}; \quad W_{пл} = C_1 W_{п. min}$$

де  $C_1$  - коефіцієнт, що визначається згідно з СНиП.

Згідно з СНиП 11 - 23 - 81\* згинальні елементи розраховують за формулами:

- на міцність за нормальними напруженнями

$$\frac{M}{W_{п. min}} \leq R_y \gamma_c$$

де  $W_{п. min}$  - мінімальний момент опору перерізу нетто;

- на міцність за дотичними напруженнями

$$\frac{QS}{It} \leq R_s \gamma_c$$

де  $\gamma_c$  - коефіцієнт умов роботи.

Перевірка прогинів балки:

$$f \leq f_u$$

При рівно-розподіленому навантаженні

$$f = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EI}$$

### 2.4.Робота і розрахунок центрально розтягнутих та центрально стиснутих елементів

Розрахунок центрально розтягнутих елементів в пружній стадії проводиться за формулою

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c$$

де  $A_n$  - площа поперечного перерізу нетто.

Гнучкі центрально стиснуті елементи можуть утратити стійкість при досягненні критичного зусилля (рис.6)

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2}$$

де  $l_0$  - розрахункова довжина стержня, залежить від способу закріплення його кінців.

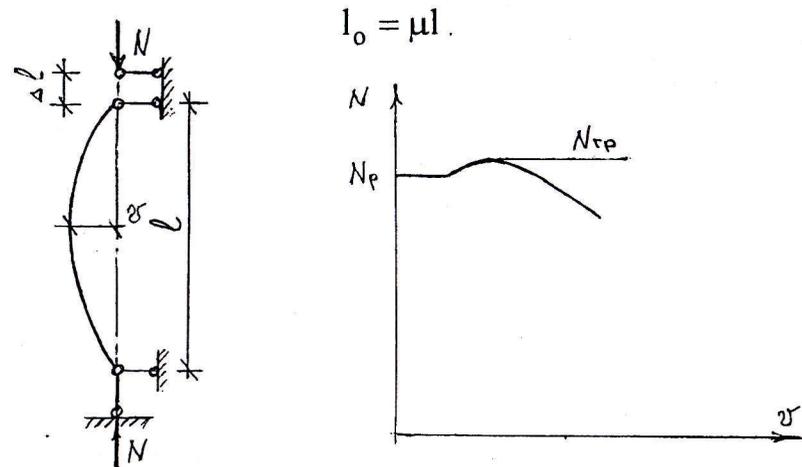


Рис.6.Робота гнучкого центрально стиснутого елемента

Згідно з СНиП центрально стиснуті елементи з урахуванням гнучкості розраховуються за формулою

$$\frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c,$$

де  $A$  - площа без урахування ослаблення;  
 $\varphi$  - визначається за таблицями СНиП залежно від гнучкості  $\lambda$

$$\lambda = \frac{l_0}{i},$$

де  $i$  - радіус інерції перерізу;  
 $l_0$  - розрахункова довжина стержня.

### 2.5. Розрахунок позакентрово стиснутих елементів

У позакентрово стиснутих елементах одночасно діють згинаючі моменти  $M$  та стискуючі зусилля  $N$  (рис.7). Короткі елементи можна розраховувати як стисло зігнуті:

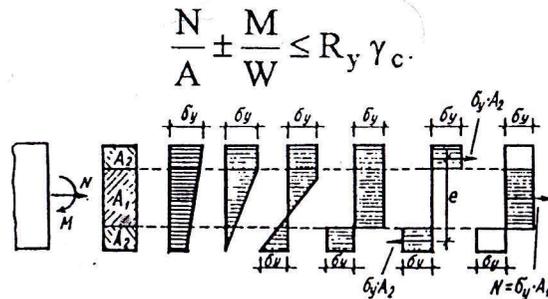


Рис.7. Утворення шарніра пластичності, коли діють  $N$  і  $M$

Гнучкі позакентрово стиснуті елементи згідно з СНиП розраховуються за формулою (рис.8)

$$\frac{N}{\varphi_e A} \leq R_y \gamma_c,$$

де  $\varphi_e$  - коефіцієнт, що визначається за таблицями СНиП залежно від умовної гнучкості і зведеного ексцентриситету:

$$m_{\sigma} = \eta m;$$

$\eta$  - коефіцієнт, що залежить від форми перерізу.

$$m = \frac{eA}{W}; \quad e = \frac{M}{N}.$$

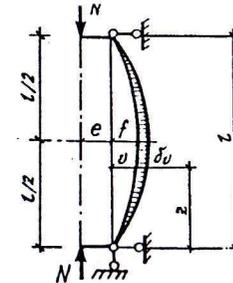


Рис.8. Утрата стійкості позакентрово стиснутого стержня

## 3.3'ЄДНАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

### 3.1. Загальні відомості про зварювання сталевих елементів

Зварювання - основний вид з'єднання металевих конструкцій.

Переваги зварних з'єднань такі:

1. Економія металу.
2. Можливість застосування механізованих та автоматизованих способів виконання робіт.
3. Висока якість з'єднань.
4. Водостійкість та газонепроникність з'єднань.

Недоліки зварних з'єднань.

1. Виникнення зварювальних деформацій.
2. Виникнення внутрішніх залишкових напружень.
3. Важко здійснювати зварювання в умовах монтажу.

У будівництві застосовують такі види зварювання:

1. Ручне.
2. Автоматичне та напівавтоматичне.
3. Електрошлакове.
4. Контактне.
5. Газове.

Ручне зварювання раціональне при невеликому обсязі робіт в умовах будівельного майданчика. Електроди, що застосовуються для ручної зварки, поділяють залежно від міцності отриманого шва. Наприклад, електрод типу Э42 дає змогу отримати шов з міцністю  $\sigma_y \geq 420$  МПа. Тип електродів для тієї чи іншої сталі визначається за спеціальними таблицями.

Автоматичне та напівавтоматичне зварювання виконує спеціальний автомат із подаванням зварювального дроту  $d = 2 \dots 5$  мм. Флюс подається окремо і захищає розплавлений метал від контакту з повітрям. При напівавтоматичному зварюванні автоматично подається електрод, а вздовж шва він подається вручну.

Електрошлакове зварювання виконується в спеціальних мідних направляючих або ваннах. У цьому випадку можна здійснювати шви товщиною 20 мм і більше.

Інші види зварювання в будівництві застосовуються рідко.

### 3.2. Типи зварних з'єднань

Застосовують такі типи зварних з'єднань (рис.9):

1. Стикові.
2. Внапуск.
3. Кутові
4. Таврові (впритул).

Зварні шви класифікують за призначенням, протяжністю та зовнішньою конструктивною формою, за розташуванням у просторі. За конструктивною ознакою шви поділяють на стикові й кутові. Стикові шви потребують додаткової обробки країв.

Початок та кінець шва дефектні (непровар і кратер). Їх бажано виводити за межі робочого перерізу. Вони не враховуються при розрахунку.

Кутові шви, розташовані паралельно до діючого навантаження, називають фланговими, а перпендикулярно - лобовими.

Шви можуть бути робочими чи конструкційними, суцільними або переривчастими. За розташуванням у просторі вони бувають нижніми, вертикальними, горизонтальними на вертикальній поверхні.

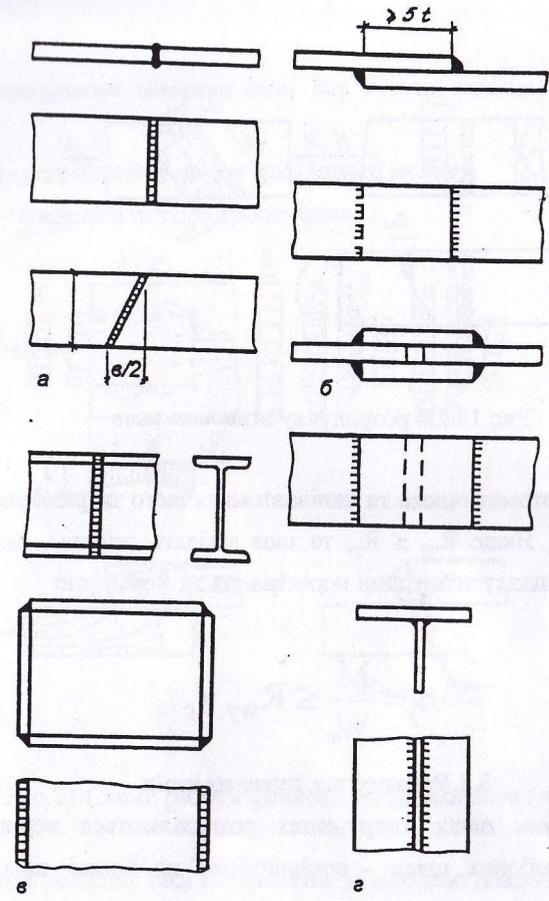


Рис.9. Види зварних з'єднань

### 3.3. Розрахунок стикових швів

Стикові шви мають невелику концентрацію напружень (рис.10).

Вважають, що розподіл напружень по довжині шва рівномірний. Напруження в шві

$$\sigma = \frac{N}{t l_w} \leq R_{wy} \gamma_c$$

де  $t$  - найменша товщина з'єднувальних елементів,  
 $l_w$  - розрахункова довжина шва.

$$l_w = l - 2t$$

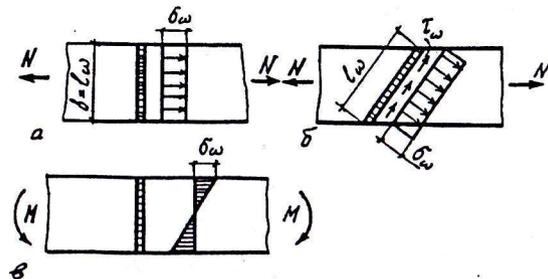


Рис. 10. До розрахунку стикових швів.

При застосуванні автоматичного та напівавтоматичного зварювання  $R_{wy} = R_y$ , а при зсуві  $R_{wz} = R_s$ . Якщо  $R_{wy} \leq R_y$ , то шов роблять скісним, що забезпечує рівномірність. У випадку згину шви перевіряють за формулою

$$\sigma = \frac{M}{W_w} \leq R_{wy} \gamma_c.$$

### 3.4. Розрахунок кутових швів

У флангових швах напруження розподіляються нерівномірно по довжині шва. В лобових швах - нерівномірно по висоті шва. Найбільші напруження - біля кореня (рис. 11).

Флангові і кутові шви розраховуються за однаковими формулами:

за металом шва

$$\frac{N}{\beta_f K_f l_w} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c,$$

за металом межі сплавлення

$$\frac{W}{\beta_z K_f l_w} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c,$$

де  $\beta_f, \beta_z$  - коефіцієнти глибини проплавлення металу;  
 $K_f$  - катет шва;

$l_w$  - розрахункова довжина шва, яку беруть меншою його довжини на 10мм;

$R_{wf}, R_{wz}$  - розрахункові опори зрізаного металу;

$\gamma_{wf}, \gamma_{wz}$  - коефіцієнти умов роботи шва.

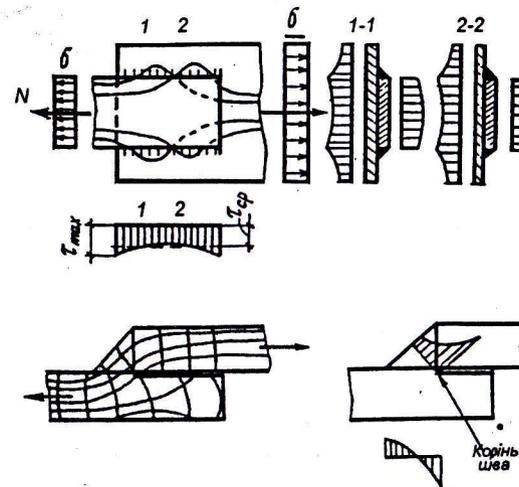


Рис. 11. Схема роботи флангового та лобового шва

Найчастіше довжину шва визначають за відомою довжиною катета:

$$l_w = \frac{N}{K_f \beta_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c}$$

Для забезпечення якісного конструювання швів до них ставиться ряд вимог. Шви повинні бути легкодоступними для огляду, причому обсяг зварювання повинен бути мінімальним. Необхідно уникати перерізу швів, їх близького розташування, утворення замкнутих контурів.

### 3.5. Загальні відомості про болтові з'єднання

Перевага болтових з'єднань - простота і надійність у роботі, особливо під час монтажу. Не виникають власні напруження.

Недоліки - велика металоємкість через необхідність застосування накладок та послаблення перерізу отворами.

У будівельних конструкціях застосовують болти грубої, нормальної (класи В і С) та підвищеної (клас А) точності. Болти бувають високоміцні,

самонарізні, фундаментні (анкерні). Болти класів В і С відрізняються допусками на відхилення діаметра (відповідно 1 і 0,52 мм). Отвори роблять на 2 ... 3 мм більші від діаметра. Такі з'єднання є досить деформативними, тому вони застосовуються при монтажі.

Болти класу А обточують, і вони мають строго циліндричну поверхню. Діаметр отвору відрізняється не більш ніж на +0,3 мм від діаметра болта. Високоміцні болти виготовляють із легованої та термічно обробленої сталі. Вони мають нормальну точність, але гайки закручують тарувальними ключами, які дають змогу контролювати зусилля в болтах. У з'єднаних елементах виникають сили тертя, що перешкоджають їх зсуву один відносно іншого.

Розрізняють два різновиди з'єднань болтами: стики і прикріплення елементів один до одного. Стики здійснюють за допомогою одно- і двобічних накладок. Максимальна відстань від краю -  $4d$  або  $8t$ , між болтами  $16d$  або  $24t$  (рис.12).

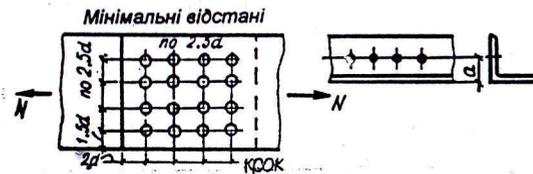


Рис.12. Розташування отворів

### 3.6. Розрахунок болтових з'єднань

Болти працюють в основному на зріз та зминання (рис.13,14).

Розрахункові зусилля, що сприймає один болт при зрізі:

$$N_{bz} = R_{bz} \gamma_b A_{bz}; n$$

де  $R_{bz}$  - розрахунковий опір болтів зрізу;  $n$  - кількість зрізів болта

$\gamma_b$  - коефіцієнт умови роботи болтів у з'єднанні.

Розрахункові зусилля, що сприймає один болт на зминання:

$$N_{bp} = R_{bp} \gamma_b d \Sigma t,$$

де  $R_{bp}$  - розрахунковий опір болта зминанню.

На розтягнення:

$$N_{bt} = R_{bt} A_{bn},$$

де  $R_{bt}$  - розрахунковий опір болта розтягненню.

Кількість болтів у з'єднанні

$$n = \frac{N}{\gamma_c N_{b \min}},$$

де  $N_{b \min}$  - мінімальне зусилля, яке сприймає болт.

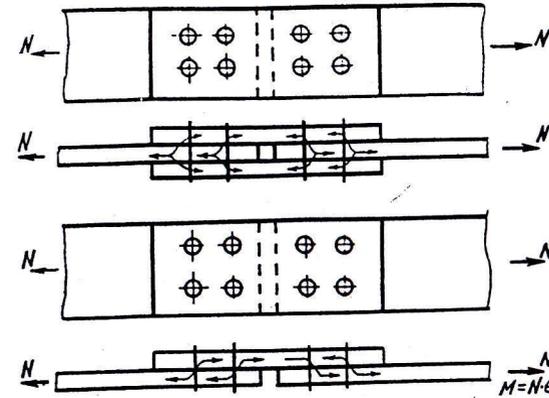


Рис.13. Стики листового металу

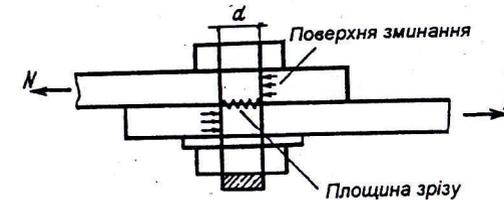


Рис.14. Робота болтів

В елементах, з'єднаних високоміцними болтами, вирішальне значення має зусилля натягу в болтах.

Зсувальне зусилля визначається за формулою

$$Q_{bh} = R_{bh} \gamma_b A_{bn} \mu / \gamma_h,$$

де  $R_{bh}$  - розрахунковий опір болта розтягненню;

$\mu$  - коефіцієнт тертя;

$\gamma_h$  - коефіцієнт надійності.

## 4. КОНСТРУКЦІЯ БАЛКОВИХ КЛІТОК

### 4.1. Загальні відомості про балкові клітки

Одним з найпростіших типів згинальної конструкції є балка. Балки широко застосовуються у будівництві, в тому числі в балкових майданчиках (клітках), міжповерхових перекриттях, мостах, стояках, підкранових балках тощо.

Основний переріз сталевих балок - двотавровий (рис. 15). Залежно від навантаження і прольоту застосовують прокатні або складені балки. Використовуються балки з гнутих профілів та бісталеві. Відомі підкранові балки прольотом до 36 м, мостові - до 200 м. Застосовуються розрізні чи нерозрізні балки.

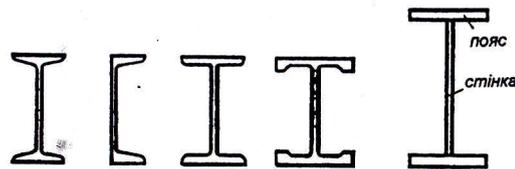


Рис. 15. Переріз балок

Балкові клітки поділяють на три типи (рис. 16):

1. Спрощені.
2. Нормальні.
3. Ускладнені.

Сполучення балок за висотою може бути поверховим, на одному рівні та заниженим (рис. 17).

При сталевому настилі балки розташовують на відстані 0,6 ... 1,6 м; при залізобетонному - 2 - 3,5 м. Відстані між допоміжними балками 2 ... 5 м.

Як настил найчастіше застосовують плоскі сталеві листи або залізобетонні плити. Сталевий настил приварюється до балки.

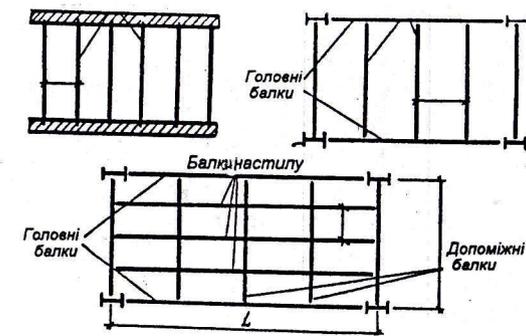


Рис. 16. Типи балкових кліток

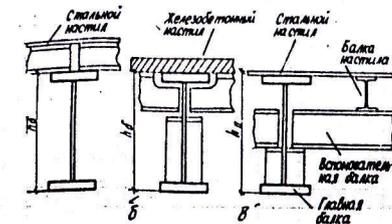


Рис. 17. Сполучення балок у клітках

### 4.2. Розрахунок балок прокатного профілю

Із прокатних профілів найчастіше роблять балки настилу, прогони покрівель і т. п. Найчастіше це - прокатний двотавр. З широкополюх та балкових двотаврів можна здійснювати перекриття значного прольоту. На міцність прокатні балки розраховують за формулою

$$\sigma = \frac{M}{W_{\Pi}} \leq R_y \gamma_c.$$

Коли відоме навантаження, можна визначити момент опору

$$W_{\Pi, \text{потр.}} = \frac{M_{\max}}{R_y \gamma_c}.$$

За сортаментом підбирають найбільший номер двотавра.

Вибраний переріз перевіряють на міцність при дії дотичних напружень (розрахунок на поперечну силу):

де  $l$  - геометрична довжина.

$\mu = 0.8$  для стиснених елементів решітки в площині ферми. У решітці випадків  $\mu = 1$ .

Наймасовіші перерізи елементів ферм - з двох прокатних кутників. Використовують й інші типи перерізів (рис.33)

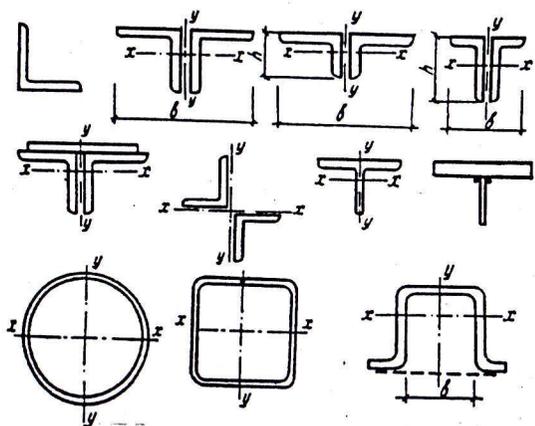


Рис.33. Типи перерізів стрижнів легких ферм

Перерізи стиснутих стрижнів розпочинають добирати з визначення потрібної площі:

$$A_{\text{пот}} = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c}$$

Заздалегідь приймають  $\lambda = 80 \dots 100$ , знаходять  $\varphi$ , тоді перевіряють

$$\frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c$$

Необхідно, щоб різниця складала не більше ніж 5%. Потрібна площа перерізу розтягнутих елементів

$$A = \frac{N}{R_y \gamma_c}$$

На зусилля  $N$  вираховують зварні шви, що поєднують елементи решітки ферм:

### 5.3. Конструювання вузлів сталевих ферм

Стрижні необхідно центрувати відносно осей, що проходять через їх центри ваги. Вузли проєктують з використанням фасонок, які заводяться між кутниками, прикріпленими фланговими швами (рис.34).

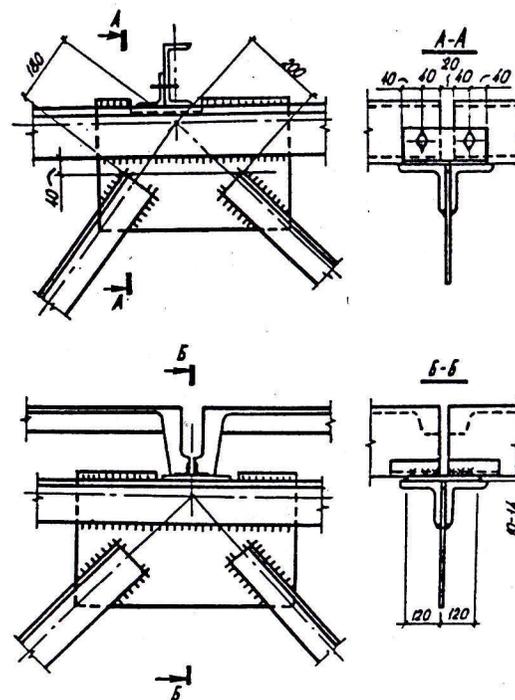


Рис.34. Вузли ферм з кутників

Між кутниками ферм для забезпечення їх сумісної роботи ставлять прокладки в стиснених елементах на відстані не більш ніж  $40i$ , а в розтягнутих - не більше  $80i$ .

Конструкції опорних вузлів залежать від способу сполучення ферм з колоною. У випадку шарнірного сполучення ферма обпирається на колону зверху. У випадку жорсткого обпирання ферма прилягає до колони збоку.

Ураховуючи вимоги транспортування, ферми виготовляють у вигляді відправних елементів. З'єднують елементи за допомогою монтажних болтів з наступним зварюванням.

Визначають довжину опорної плити:  $B_{пл} = A_{ш} / L_{пл}$ .

Товщину плити визначають з умови прийняття згинального моменту  $M$ . Для цього визначають згинальні моменти  $M$  по всіх ділянках 1, 2, 3, 4. Наприклад, для ділянки 1  $M$  визначається як для плити, обертої по контуру, а для ділянки 2 як для плити, обертої по трьох боках.

Є спеціальні таблиці, за якими легко визначаються значення  $M$  для всіх випадків.

Знаючи  $M$ , визначають товщину плити:

$$t_{пл} = \sqrt{\frac{6M}{bR_y}} \quad W_{пл} = \frac{bt_{пл}^2}{6}$$

Після визначення  $t_{пл}$  для всіх ділянок приймають найбільше значення. Траверсу розраховують на згинальний момент як двоконсольну балку.

Сумарну довжину швів для прикріплення колони до траверси визначають за формулою

$$\sum l_w = \frac{N^+}{\beta_f K_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c}$$

## 5. СТАЛІВІ ФЕРМИ

### 5.1. Класифікація та компонування сталевих ферм

Ферми широко застосовуються в покриттях цивільних та промислових будівель. За витратами металу вони економічніші, ніж балки.

За обрисом ферми поділяються так (рис.31):

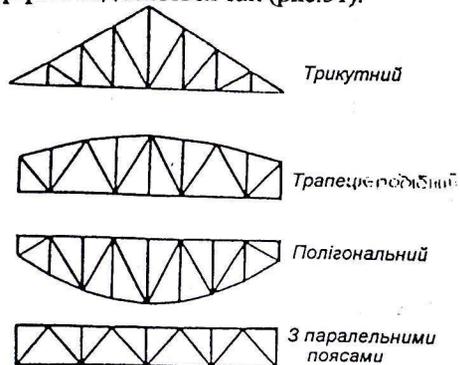


Рис.31. Обриси ферм

1. Трикутні.
2. Трапецеєподібні.
3. Полігональні.
4. З паралельними поясами.

Проліт ферм визначають згідно з експлуатаційними вимогами. У трикутних фермах висота  $h$  є функцією прольоту, оскільки ухил  $d$  верхнього пояса складає  $25 \dots 45^\circ$  ( $h = 1/4 \dots 1/2$ )  $L$ .

Висоту ферм із паралельними поясами вибирають з умов найменшої ваги. Застосовують такі системи решіток (рис.32):

1. Трикутні.
2. Розкісні.
3. Суцільні.

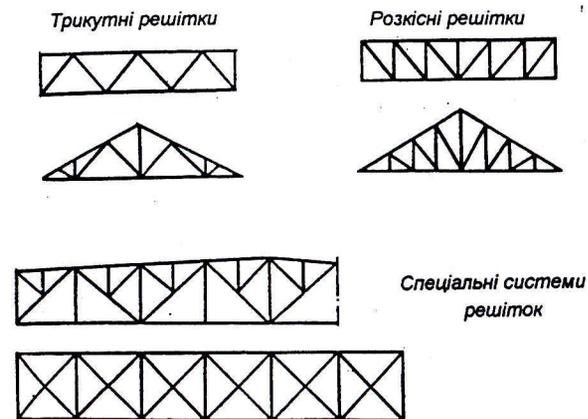


Рис.32. Системи решіток ферм

Статичний розрахунок ферм проводять такими методами: графічним (побудова діаграми Максвелла - Кремони), вирізання вузлів, перерізів.

При цьому використовують такі передумови:

1. Всі вузли ферми шарнірні.
2. Осі стержнів перетинаються в одній точці.
3. Усі навантаження прикладені у вузлах.

### 5.2. Типи, добір перерізів стержнів легких ферм

Розрахункова довжина стиснутого стержня ферми

$$l_{ef} = \mu l,$$

#### 4.7. Конструювання центрально стиснутих колон

За умов забезпечення місцевої стійкості суцільні колони можуть посилюватися поперечними та повздовжніми ребрами жорсткості. Сполучення колон з балками може бути шарнірним або жорстким. При жорсткому опиранні балки прилягають до колон збоку (рис. 27).

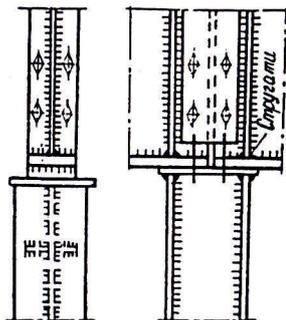


Рис. 27. Обпирання балок на колону збоку.

При опиранні зверху оголовок колони підсилюється опорною плитою та ребрами (рис. 28).

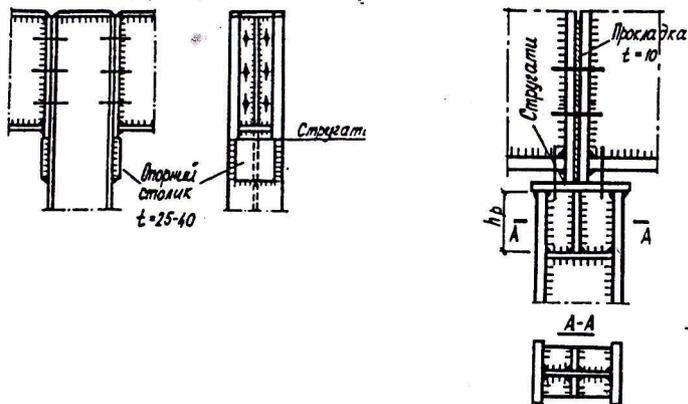


Рис. 28. Оголовок колон у випадку опирання балок зверху

Бази колон також можуть забезпечувати шарнірне або жорстке сполучення колони з фундаментом.

Застосовують такі типи баз (рис. 29).

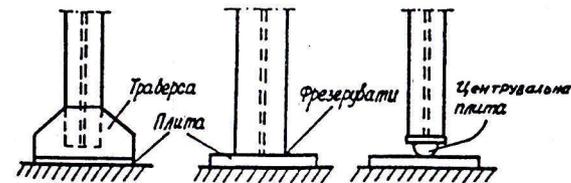


Рис. 29. Типи баз колон.

1. З траверсою.
2. Із фрезерованим торцем.
3. З шарнірним пристроєм.

При жорсткому опиранні згинальні моменти сприймають анкери.

Розрахунок бази починають із визначення розмірів опорної плити (рис. 30).

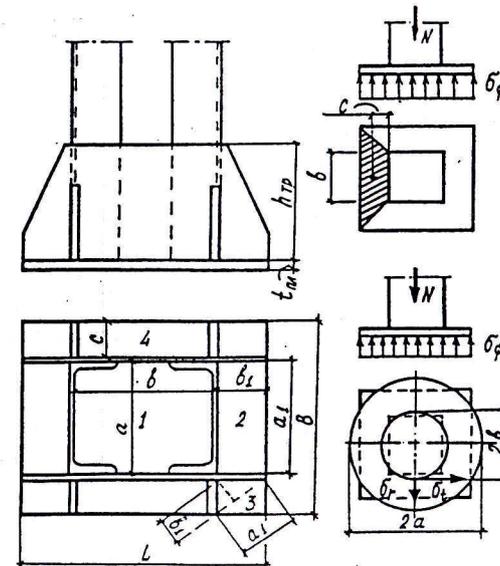


Рис. 30. До розрахунку бази колон.

$$A_{\text{пл}} = \frac{N}{R_{\text{blok}}}$$

де  $R_{\text{blok}}$  - розрахунковий опір матеріалу фундаменту.

$$B_{\text{пл}} = h + 2c$$

$c$  - призначається конструктивно.

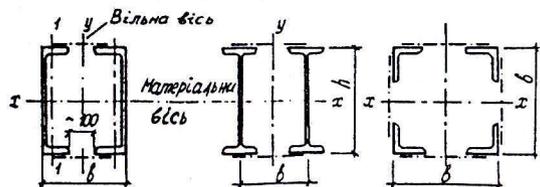


Рис.24. Типи поперечних перерізів наскрізних центрально стиснених колон

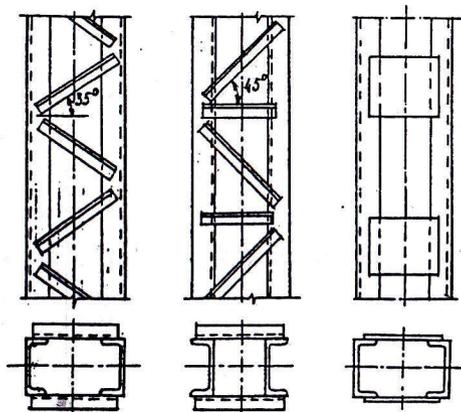


Рис.25. Типи решіток наскрізних колон

#### 4.6. Підбір перерізів центрально стиснених колон

Потрібну площу поперечного перерізу колони визначають за формулою методом послідовних наближень

$$\frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c.$$

Звідки

$$A = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c},$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт, що враховує гнучкість, його визначають за таблицями СНиП залежно від гнучкості  $\lambda$ .

$$\lambda = \frac{l_0}{r_i},$$

$l_0$  - розрахункова висота колони. Залежить від способу закріплення кінців колони.  
 $r_i$  - радіус інерції перерізу.

$$r_i = \sqrt{\frac{I}{A}}.$$

При практичних розрахунках орієнтовано приймають  $\lambda$  у межах  $\lambda = 70 \dots 100$ .

Перевірку скрізних колон починають з розрахунку відносно матеріальної осі.

$$A_{\text{потр}} = N / \varphi_x R_y \gamma_c.$$

Зусилля в елементах решітки скрізних центрально стиснутих колон (рис.26) визначають за формулою

$$N_p = \frac{Q_{\text{fic}}}{2 \sin \alpha},$$

де  $\alpha$  - кут між розкосом та гілкою.

Значення умовної поперечної сили  $Q_{\text{fic}}$  визначають за формулами СНиП.

Знаючи  $N_p$ , підбирають переріз кутика для центрально стиснутого елемента та розраховують зварні шви.

Зусилля в планках розраховують, прийнявши умовні шарніри по середині елементів (рис.26):

$$\frac{Q l_b}{2} = \frac{F_{\text{пл}} b}{2},$$

$$M_{\text{пл}} = F_{\text{пл}} \cdot \frac{b}{2} = Q l_b; F_{\text{пл}} = Q l_b.$$

Знаючи  $F_{\text{пл}}$  та  $M_{\text{пл}}$ , підбирають переріз планки та розраховують зварний шов.

$$W_{\text{wf}} = K_f \frac{h_{\text{пл}}^2}{6}.$$

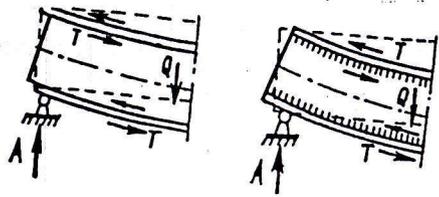


Рис.19.Схема роботи поясних швів

Звідси

$$K_f = (QS_f / I) / n (\beta_f R_{wf})_{\min}$$

де  $n$  - кількість швів (1 або 2).

З'єднують балки за допомогою зварювання (рис.20).

Для забезпечення стійкості стінки встановлюють поперечні або поздовжні ребра жорсткості. Із сталевими колонами балки сполучають, обпираючи їх згори або притуляючи збоку (рис.21). У таких вузлах розраховуються зварні шви та опирання балок на змінання.

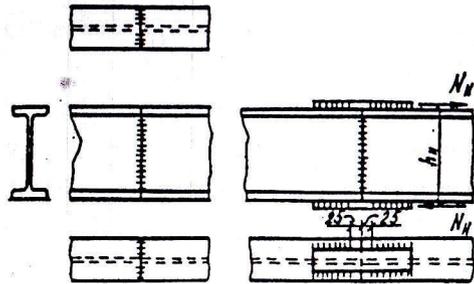


Рис.20.Стики прокатних балок.

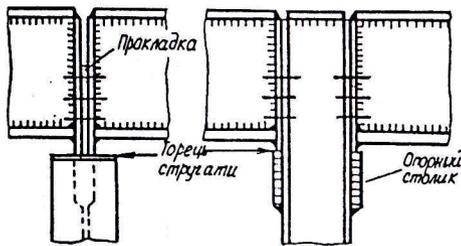


Рис.21.Обпирання балок на колону.

#### 4.5.Загальні відомості про центрально стиснені колони

Центрально стиснені колони застосовують у багатоповерхових будівлях, естакадах і т. ін. Центрально стиснутими є елементи ферм.

Складові частини центрально стиснутих колон: стрижень, база, оголовок (рис.22).

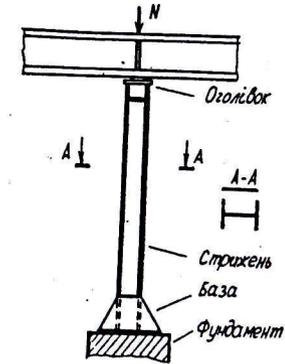


Рис.22.Схема центрально стисненої колони.

Застосовують одно- та багаторусні колони. За видом поперечного перерізу центрально стиснуті колони бувають суцільними і скрізними. Суцільні колони можуть бути прокатні та складені. Суцільні перерізи мають різний поперечний переріз (рис.23).

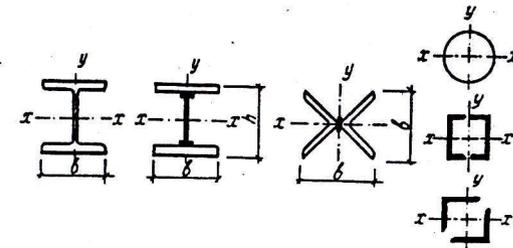


Рис.23.Типи перерізів суцільних центрально стиснених колон

Наскрізні колони мають ту перевагу, що вони можуть бути рівностійкими ( $\lambda_x = \lambda_y$ ).

Стрижні скрізних колон складені з віток, з'єднаних решітками (рис.24). Решітки виконують із розкосів, з розкосів з розпірками або у вигляді планок (рис.25). Решітки забезпечують сумісну роботу віток та стійкість колони загалом.

$$\tau = \frac{Q_{\max} S}{I t_w} \leq R_s \gamma_c.$$

Перевіряють загальну стійкість балки

$$\frac{M}{\varphi_b W_c} \leq R_y \gamma_c,$$

де  $\varphi_b$  - визначається за вказівками СНиП. За другим граничним станом перевіряють прогини:

$$\frac{f}{l} \leq \left[ \frac{f}{l} \right].$$

$$f = \frac{5 q l^4}{384 EI} \text{ - при рівномірно розподіленому навантаженні.}$$

#### 4.3. Особливості проектування складених балок

Підбір перерізу складеної балки починають з визначення оптимальної висоти  $h$  (рис. 18). Для цього існують спеціальні формули, виведені з урахуванням мінімальної ваги балки та її жорсткості.

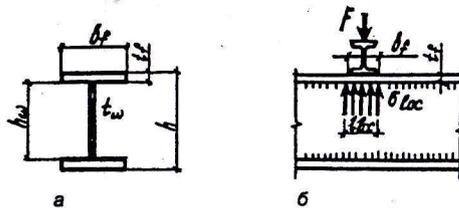


Рис. 18. До розрахунку міцності складених балок: а-поперечний переріз складеної балки; б-поверхове обпирання балки

Товщину стінки  $t_w$  визначають

$$t_w = \frac{QS}{IR_s} \approx \frac{1,2Q}{hR_s}.$$

Товщину листа полиці беруть у межах (2 ... 3)  $t_w$ , але не більше 30 мм. Ширину горизонтальних листів  $b_f$  вибирають у межах 1/2 ... 1/4 висоти балки, але не менше 180 мм.

Після цього перевіряють міцність балки за нормальними напруженнями:

$$\sigma = \frac{M}{W_n} \leq R_y \gamma_c,$$

за дотичними напруженнями:

$$\tau = \frac{Q_{\max} S}{It} \leq R_s \gamma_c.$$

Ведуть перевірку міцності стінки на місцеві напруження:

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{t_w l_{loc}} \leq R_y \gamma_c.$$

$$l_{loc} = b + 2 t_f.$$

Перевіряють прогини балки та її загальну стійкість:

$$\frac{f}{l} \leq \left[ \frac{f}{l} \right]; \quad \frac{M}{\varphi_b W_c} \leq R_y \gamma_c.$$

Важливою є перевірка місцевої стійкості стінки та полиці. Розрахунок проводиться за формулами СНиП. Загальний підхід до розрахунку: фактичні значення напружень не повинні перевищувати критичних значень

$$\sigma \leq \sigma_{cr}.$$

#### 4.4. Конструювання складених балок

З'єднання вертикального та горизонтального листів між собою здійснюється зварними швами, які працюють на зріз і розраховуються за формулою (рис 19)

$$T = \tau t_w = \frac{QSt}{I}.$$

#### 5.4. Особливості проектування ферм з труб і гнучо замкнених профілів

Такі ферми значно легші від кутникових тому, що всі елементи рівностійкі. Вузли сполучення повинні забезпечувати герметизацію внутрішньої порожнини.

Ураховуючи особливості труб, застосовують такі типи вузлів (рис.35).

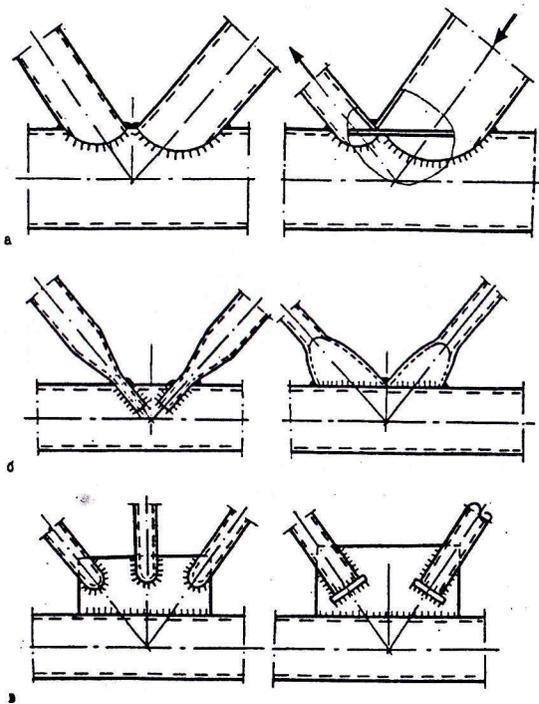


Рис.35. Вузли трубчатих ферм: а- з безпосереднім приляганням; б-сплющуванням кінців стрижнів; в-на фасонках каркаса.

1. З безпосереднім приляганням елементів.
2. Із сплющенням кінців стержнів.
3. На фасонках.

Шви, якими прикріплюють елементи решітки до поясів, розраховують з огляду на їх складну просторову роботу. Укрупнювальні вузли найзручніше виконувати на фланцях.

Товщину стінок профілів приймають не менше ніж 3 мм. Конструкції опорних вузлів залежать від способу сполучення ферм з колоною. У випадку

шарнірного сполучення ферма обпирається на колону зверху. У випадку жорсткого обпирання ферма прилягає до колони збоку. Враховуючи вимоги транспортування, ферми виготовляють у вигляді відправних елементів. З'єднують елементи за допомогою монтажних болтів з наступним зварюванням.

## 6. КОНСТРУКЦІ ОДНОПОВЕРХОВИХ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ

### 6.1. Призначення, типи, кранове устаткування та вимоги до каркасів виробничих будівель

Одноповерхова виробнича будівля (ОВБ) - основний тип цехів промислових підприємств. Головна складова частина цих будівель - каркас, що складається з колон та ригелів (ферм).

За кількістю прольотів ОВБ поділяються на одно - і багатопролітні. Каркаси можуть бути сталеві, мішані і залізобетонні.

За видом внутрішнього транспорту будівлі поділяють на: безкранові, з мостовими і підвісними кранами. Багато сучасних ОВБ мають великі прольоти, висоту й навантаження від мостових кранів. Наприклад, конверторний цех має проліт 30 м, висоту до 80 м і крани вантажністю до 450 т. Тому вибір матеріалу каркаса - важлива техніко - економічна задача.

На роботу каркаса впливає режим, в якому працюють крани. Є легкий, середній і дуже важкий режими, вони не залежать від вантажності кранів. Це враховують при проектуванні каркасів.

Більшість виробничих будівель за ступенем відповідальності належать до другого класу ( $\gamma_n = 0,95$  - коефіцієнт надійності за призначенням).

У СРСР на спорудженні каркасів ОВБ витрачалось до 50 % сталі, що споживалась у будівництві. Основний напрям економії сталі: використання сталі з підвищеною міцністю, ефективних видів прокату і т. ін. Каркаси ОВБ проектують так, щоб несучу здатність уперек будівлі забезпечували поперечні рами, вздовж - повздовжні елементи каркаса.

Поперечні рами складаються з колон, ригелів (рис.36). Повздовжні елементи: підкранові балки, підкранові ферми, зв'язі між колонами та фермами.

За видом сполучення з колонами розрізняють жорсткі та шарнірні ригелі рами (рис.37). Бувають однопролітні та багатопролітні рами.

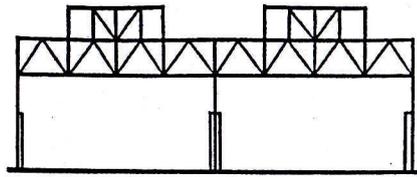


Рис.36. Конструктивна схема каркаса

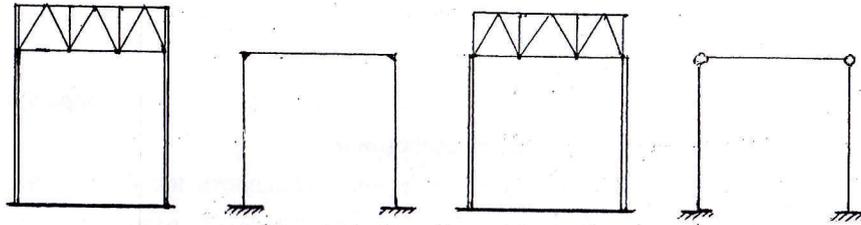


Рис.37. Види сполучень ригеля з колоною і розрахункові схеми поперечних рам

Будівлі великого розміру розрізають поперечними та поздовжніми температурними швами. В сталевих каркасах гранична довжина температурного блоку - 200 -230 м.

### 6.2. Вертикальні і горизонтальні в'язі між колонами й покриттям

В'язі - один з найважливіших елементів каркаса. Вони призначаються для забезпечення жорсткості й незмінності просторової системи каркаса.

Роль в'язей між колонами виконують підкранові балки, розпірки та елементи решітки (рис.38). В'язі між колонами влаштовуються по середині температурного блоку.

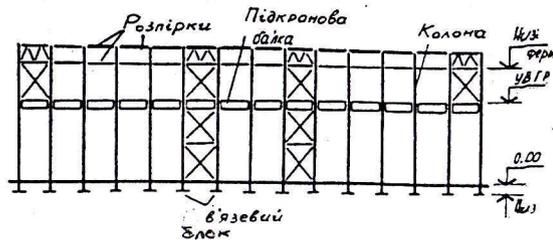


Рис.38. Розташування в'язів між колонами

Система в'язів покриття складається з горизонтальних і вертикальних (рис.39). Горизонтальні в'язі влаштовують по верхніх та нижніх поясах. Вони можуть мати хрестову або трикутну решітку.

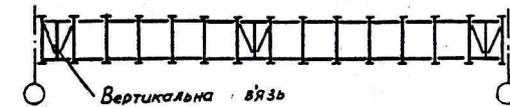
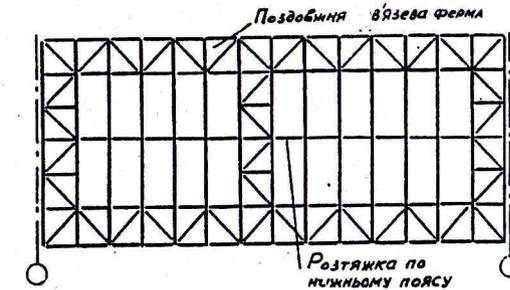
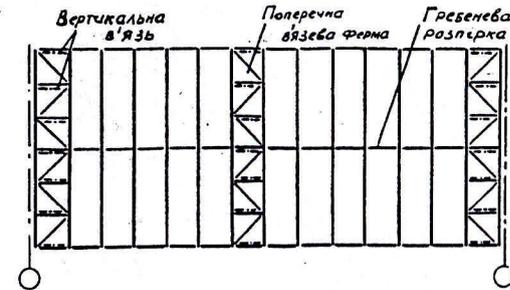


Рис.39. В'язі між фермами: а-по верхніх поясах; б-по нижніх поясах; в-вертикальні.

В'язі між колонами влаштовуються з кутників або труб. Їх розраховують за граничною гнучкістю. Для стиснених елементів  $\lambda = 200$ , для розтягнутих  $\lambda = 400$ .

### 6.3. Конструкція та компоновання сталевих рам ОБВ

Прольоти будівель L визначаються технологічними вимогами (рис.40):

$$H_n = H_0 - H_s + (600 \dots 1000),$$

де 600 ... 1000 - заглиблення колони нижче нульової позначки.

Статичний розрахунок рами проводиться за методами будівельної механіки (методи сил або перемішень), при цьому враховується навантаження від власної ваги, вітру, мостових кранів.

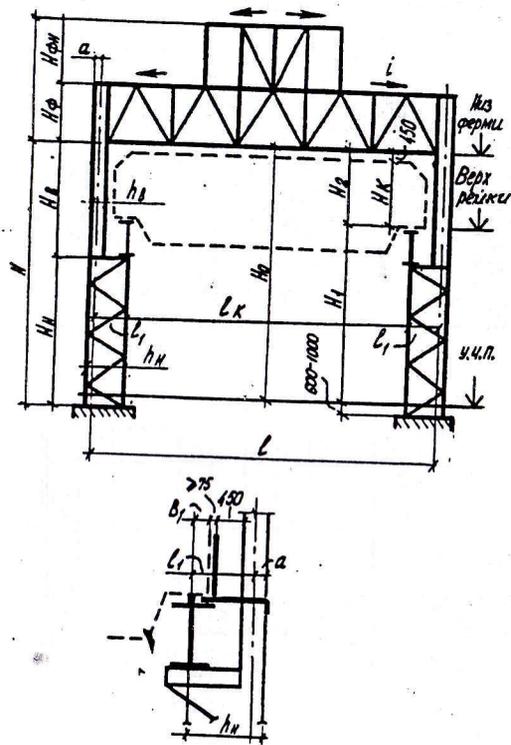


Рис.40.Компонування сталеві рами ОВБ

#### 6.4.Основні елементи покриттів ОВБ

Покриття ОВБ складаються з огорожуючих і несучих конструкцій (прогони, ферми, ліхтарі, в'язі). Покриття бувають з прогонами або без них (рис.41). Прогони ставлять через 1,5 - 3 м і на них кладуть малорозмірні плити. В покриттях без прогонів великорозмірні плити кладуть безпосередньо на ферми (проліт плит 6 ... 12 м). Прогони роблять з прокатних профілів (швелери, двотаври).

Найсучасніший настил по прогонах - профільований настил, його виготовляють з оцинкованої сталі, завтовшки 0,8; 0,9; 1 мм. Висота профілю

40, 60, 80 мм, ширина до 0,8 м, довжина до 12 м. Настил прикріплюють до прогонів самонарізними гвинтами.

Холодні покрівлі можна виготовляти з хвилястих азбоцементних листів, сталевих або алюмінієвих листів.

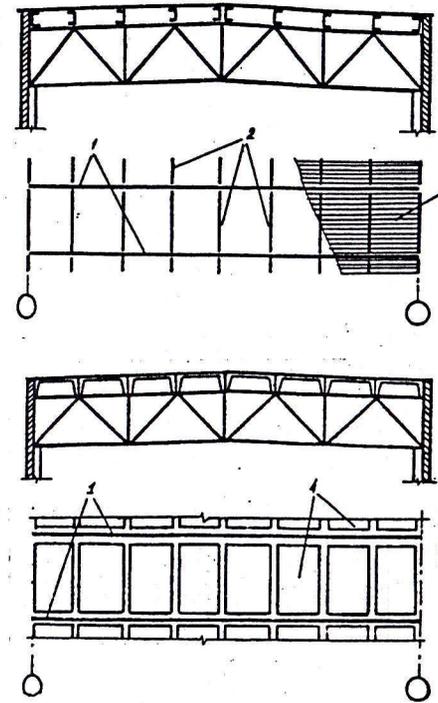


Рис.41.Схема покриттів

Прогони можуть бути розрізними та нерозрізними. Якщо покрівля має великий ухил, прогони працюють у 2 - х площинах. При цьому

$$q_x = q \cos \alpha; \quad q_y = q \sin \alpha.$$

Найбільші напруження в прогоні при згині в двох площинах:

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq R_y \gamma_c.$$

Прогин прогону не повинен перевищувати 1/200.

### 6.5. Типи колон ОББ та галузь їх раціонального застосування

У каркасах ОББ застосовують колони трьох типів (рис.42):

1. Постійного за висотою перерізу.
2. Змінного перерізу.
3. У вигляді двох стояків, зв'язаних між собою (роздільні).

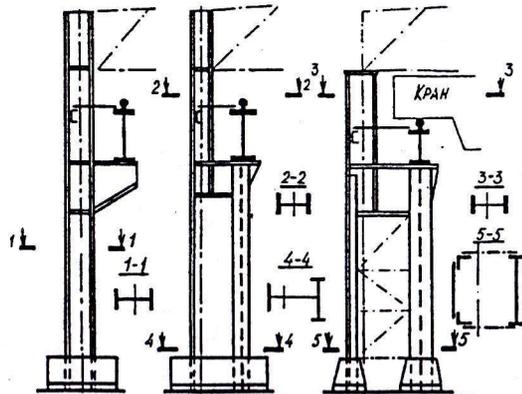


Рис.42. Типи колон одноповерхових виробничих будівель.

У колонах постійного перерізу навантаження від крану передається через консоль. Стрижні колони можуть бути суцільними або наскрізними. Вони застосовуються при вантажності кранів 15 ... 20 т.

Ступінчасті колони - основний тип для ОББ. Підкранова балка опирається на уступ нижньої частини колони. Ці колони можуть також мати суцільний або наскрізний переріз.

У відокремлених колонах підкрановий стояк сприймає тільки навантаження від кранів, із зовнішньою гілкою він пов'язаний гнучкими в'язями.

#### 6.6. Добір перерізу позациентрово стиснутих колон

Суцільні колони проєктують двотаврового та інших перерізів (рис.43). Несучу здатність колон визначають за формулою

$$\frac{N}{\varphi_e A} \leq R_y \gamma_c,$$

де  $\varphi_e$  - приймається за таблицею СНиП залежно від умовної гнучкості  $\lambda$  і зведеного відносного ексцентриситету  $m_{ef}$ .

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E}, \quad \lambda = l / i_x;$$

$$m_{ef} = \eta m; \quad m = \frac{eA}{W}; \quad e = \frac{M}{N},$$

де  $\eta$  - визначається за таблицею СНиП, залежить від форми поперечного перерізу.

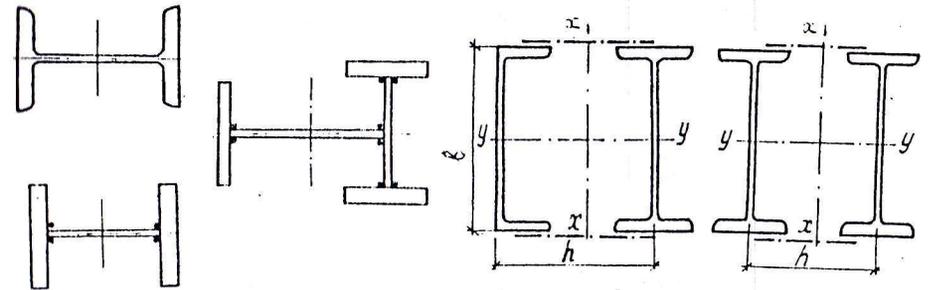


Рис.43. Типі перерізів суцільних та скрізних колон

Стрижень складеної колони складається з двох гілок, зв'язаних решіткою. Наскрізна колона працює як ферма з паралельними поясами. Зусилля  $M$  і  $N$  сприймається гілками,  $Q$  - решіткою.

Повздовжні зусилля визначаються за формулою

$$N_b = \frac{N}{2} \pm \frac{M}{h_0}.$$

Визначивши  $N_b$ , кожному гілку розраховують окремо на центральний стиск, приймавши за  $l_0$  відстань між вузлами решіток.

Після цього перевіряють стійкість колони як єдиного стрижня:

$$\frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c.$$

#### 6.7. Конструкція та розрахунок баз колон ОББ

Бази призначені для передавання зусиль з колони на фундамент. Вони складаються з опорних плит, траверс, ребер і анкерних болтів.

Під плитою у фундаменті виникають напруження, які можна визначити за формулою

$$\sigma_1 = \frac{N}{A_{пл}} \pm \frac{M}{W_{пл}} \leq R_b \gamma_c.$$

Іноді між плитою та фундаментом можуть виникнути напруження розтягу. Вони сприймаються анкерними болтами, що в цьому випадку працюють на розтяг. Ширину  $B$  приймають на 100 ... 200 мм більшу за ширину перерізу колони і з наведеної формули визначають довжину  $L$ , вирішивши квадратне рівняння.

Товщину плити та розрахунок траверси проводять як і при осьовому стиску.

У наскрізних колонах бази роблять роздільними, під кожну гілку окремо. Ці бази конструюються та розраховуються як для центрально стиснених колон.

## 7. ЛИСТОВІ КОНСТРУКЦІЇ

### 7.1. Призначення, класифікація та особливості роботи листових конструкцій

Листовими називають конструкції, які головним чином складаються з листів та призначені для зберігання чи транспортування рідин, газів та сипких матеріалів.

Будуються такі листові споруди:

- резервуари;
- газгольдери;
- бункери;
- силоси;
- трубопроводи великих діаметрів;
- спеціальні конструкції хімічної, металургійної промисловості;
- димові труби;
- градирні;
- захисні оболонки АЕС.

Листові конструкції бувають надземні, підземні, підводні. Вони можуть сприймати статичні або динамічні навантаження, працювати під високим та низьким тиском. Вони одночасно виконують несучі й огорожувальні функції. Шви в листових конструкціях повинні бути не тільки міцні, а й щільні, до них ставлять підвищені вимоги.

Листові конструкції працюють як тонкі оболонки. Вони розраховуються на безмоментну теорію, головна передумова якої полягає в тому, що оболонка сприймає тільки сили розтягнення або стиску і не сприймає згинальний момент (рис. 44).

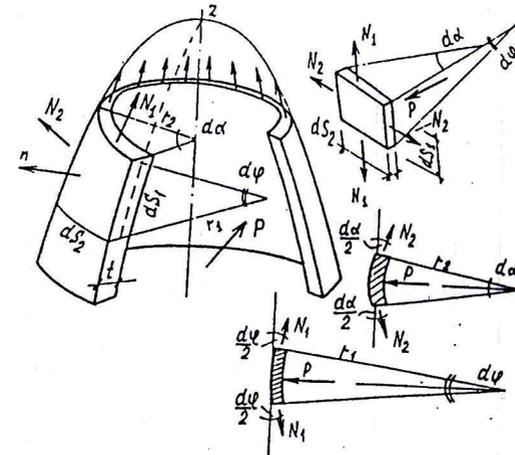


Рис. 44. До розрахунку листових конструкцій

Головні рівняння теорії оболонок записуються так:

$$\frac{\sigma_1}{r_1} + \frac{\sigma_2}{r_2} = P/t; \quad \sigma_1 = \frac{Pr_2}{2t}; \quad \sigma_2 = \frac{Pr_2}{t},$$

де  $r_1, r_2$  - меридіальний та кільцевий радіуси оболонки.

### 7.2. Бункери й силоси

Бункерами та силосами називають ємкості, що призначені для зберігання і перевантаження сипких матеріалів (рис. 45)

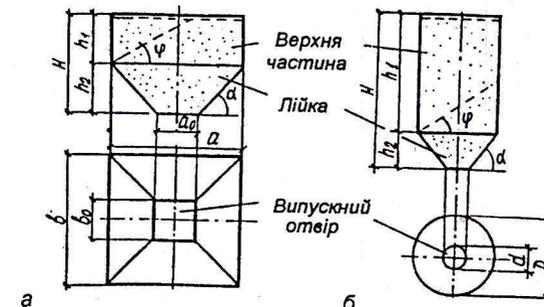


Рис. 45. Схема бункера (а) й силоса (б)

У бункерах висота стінки не перевищує півтора найменшого розміру в плані. Вищі сховища називають силосами.

Бункери та силоси можуть бути різноманітними за формою. Вони бувають квадратними, прямокутними або круглими в плані.

Є бункери з плоскими й гнучкими стінками. Вертикальні стінки бункера утворюють несучі балки, укріплені ребрами. Розрахунок бункера й силоса відрізняється тим, що в силосі необхідно враховувати можливе зависання матеріалу від його тертя об стінку.

### 7.3. Резервуари

Резервуари - це ємкості, що призначені для зберігання рідин. За умовами роботи вони бувають низького та високого тиску. Залежно від геометричної форми резервуари бувають циліндричні (вертикальні і горизонтальні) (рис.46), сферичні (рис.47), краплевидні й ін. Складові частини циліндричного резервуару: стіни, днище, дах, стояк. Товщину днища вибирають із конструктивних міркувань. Стінку розраховують як циліндричну оболонку. Важливим є розрахунок оболонки на тиск при можливому вакуумі.

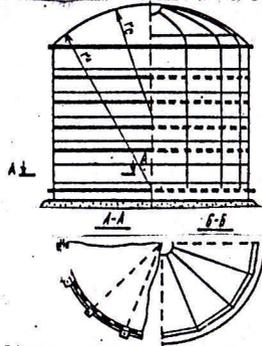


Рис.46. Вертикальний циліндричний резервуар

Сферичні резервуари опираються на кільцеві опори або системи стояків. У них може зберігатися скраплений газ. Рациональними за вимогами роботи є краплевидні резервуари.

### 7.4. Газгольders

Газгольders - це ємкості, призначені для зберігання і змішування газів. Бувають мокрі та сухі газгольders. Вони можуть бути змінного або постійного об'єму. Сухі газгольders застосовують, коли неприпустиме зволоження газів.

Зовні вони нагадують циліндри. Для зберігання тиску всередині може застосовуватись спеціальна конструкція у вигляді шайби або податлива діафрагма. Мокрі газгольders роблять об'ємом 3000 м<sup>3</sup> і більше.

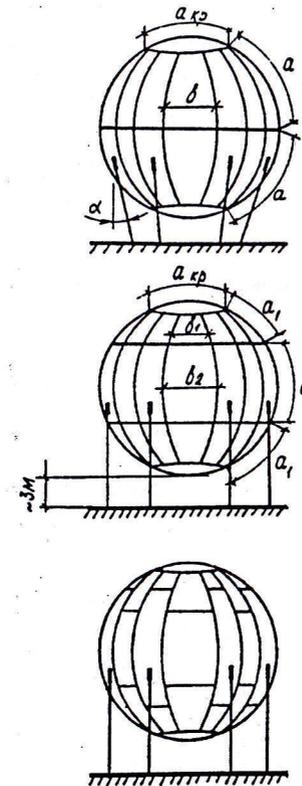


Рис.47. Види сферичних резервуарів

## 8. КОНСТРУКЦІЯ ВЕЛИКОПРОЛІТНИХ БУДІВЕЛЬ

### 8.1. Галузь застосування та класифікація великопролітних покриттів

В громадських будівлях: театри, виставочні павільйони, концертні та спортивні зали, криті стадіони, ринки, вокзали.

В спеціальних будівлях: ангари, гаражі, тролейбусні парки.

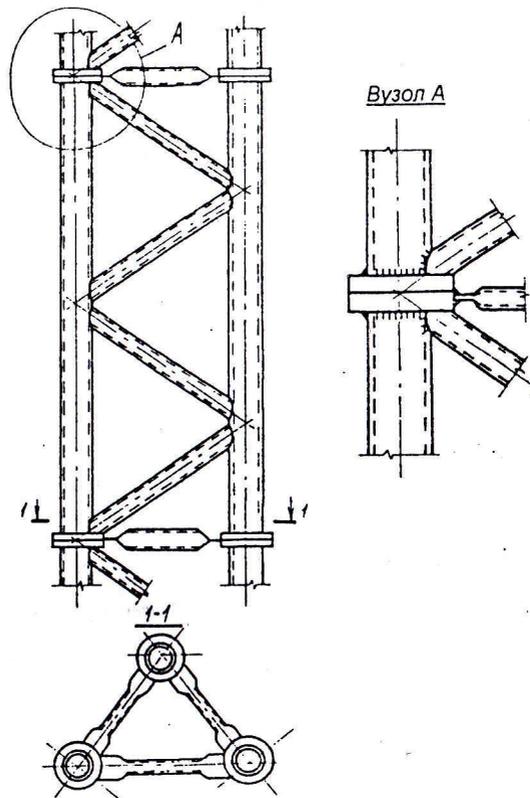


Рис. 57. Секція типової радіощогли

#### 9.4. Особливості проектування каркасів висотних будівель

У висотних будинках чітко розрізняють несучі й огорожувальні функції. Несучі функції виконує каркас із високоміцних матеріалів. При цьому сталеві каркаси треба захищати від пожежі та корозії. Каркас сприймає значні навантаження: власна вага будівлі, корисні навантаження, вітер, сейсмічні та температурні впливи. Основні складові каркасу - стояки й балки.

Застосовують такі типи несучих систем багатоповерхових будівель: каркасні, безкаркасні, змішані.

Каркасні системи поділяють на в'язеві, рамні, рамнов'язеві (рис. 58).

Найекономічніша - в'язева система. Іноді каркаси проектують по одній з осей в'язевими, а по іншій - рамними. В'язеві ферми мають різні системи решітки.

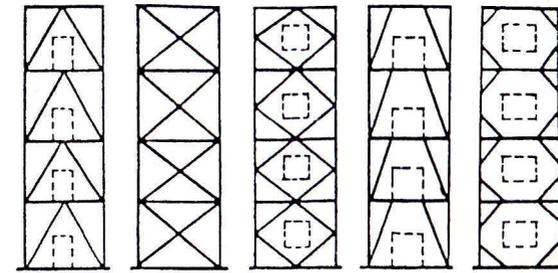
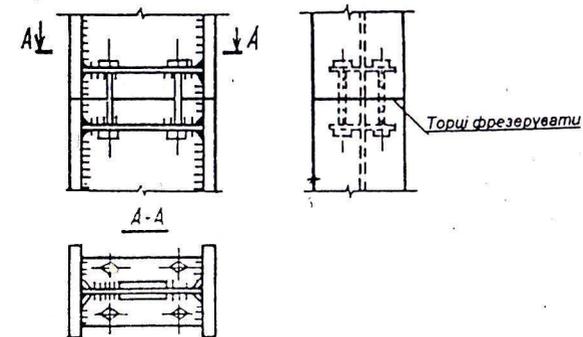


Рис. 58. Схема несучих систем висотних будівель

Переріз колон призначають мінімальним. Найчастіше використовують двотаврові поперечні перерізи. Колони стикують через два чи більше поверхів на висоті біля 1 м над рівнем міжповерхових перекриттів. З'єднують колони за допомогою болтів (рис. 59).

Рис. 59. Стики колон із фрезеруванням торців стьжними болтами  
Каркаси розраховують на міцність і жорсткість.

#### ЛІТЕРАТУРА

- 1 Веленя Е.И. и др. Металлические конструкции. - М.: Стройиздат, 1986.
- 2 Клименко Ф.Є., Барабаш В.М. Металеві конструкції. - Львів: Світ, 1994.
- 3 Стороженко Л.І. та ін. Металеві конструкції. - К.: НМК ВО, 1992.

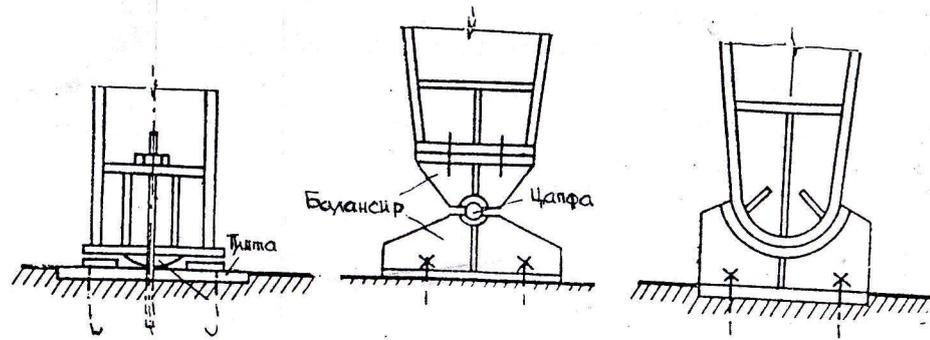


Рис.53. Опорні шарніри арок

### 8.5. Типи й особливості роботи висячих конструкцій

Висячими називають покриття, в яких основні елементи працюють на розтяг. У цих покриттях дуже ефективно використовуються високоміцні матеріали, наприклад канати з високоміцного дроту (міцність до 2400 МПа). Їх вигідно застосовувати для перекриття великих прольотів.

Застосовують такі типи висячих конструкцій:

1. Однопоясні з гнучкими вантами.
2. Однопоясні з жорсткими вантами.
3. Двопоясні системи.
4. Сідловидні напружені покриття.
5. Оболонки - мембрани.

Висячі системи розпірні, тому для сприйняття розпору потрібна жорстка конструкція. Часто такими покриттями перекривають круглі будівлі, в цьому випадку розпір сприймає стиснене кільце.

Особливістю висячих конструкцій є підвищена деформативність. Тому передбачаються стабілізуючі пристрої або попереднє напруження.

Розпір, що сприймають ванги, можна наближено визначити за формулою

$$H = M / f,$$

де  $M$  - балковий момент,  $f$  - стрілка провису.  
Зусилля у ванті біля опори:

$$T = \sqrt{H^2 + v^2},$$

де  $v$  - балкова опорна реакція.

### 8.6. Однопоясні та двопоясні висячі системи

Однопоясні покриття дуже прості. Ними перекривають прямокутні та круглі в плані будинки (рис.54).

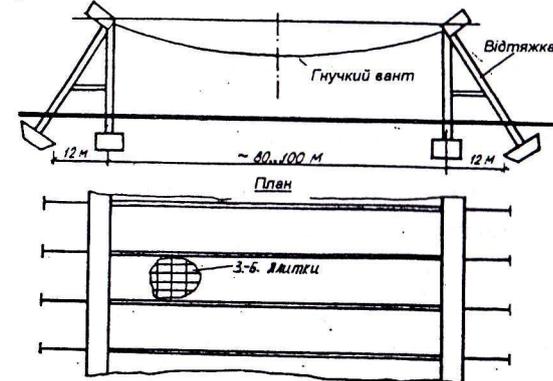


Рис.54. Однопоясні покриття з гнучкими вантами

На систему гнучких вант у процесі монтажу кладуть залізобетонні плити. Під час замоноличування плит влаштовують привантаження. Розпір сприймають відтяжки.

Ці покриття мають недоліки. Прогин покриття в середину будівлі має незвичиний естетичний вигляд. Потрібний внутрішній водовідвід.

Рациональними є покриття з жорсткими вантами, тому що для них не потрібні привантаження.

Цих недоліків немає у двопоясних системах (рис.55). Ці системи особливо рациональні в круглих будівлях. Розпір сприймає опірний контур.

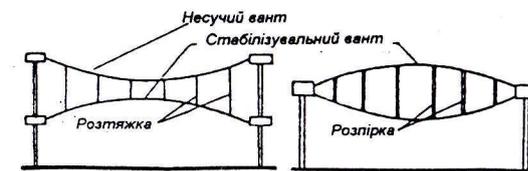


Рис.55. Двопоясні системи

### 8.7. Мембранні покриття й перехресні системи

Головна перевага тонкостінних оболонок - мембран - поєднання несучої та огорожувальної функції й індустріальність виготовлення.

Стрижні роблять переважно з труб: оптимальний кут нахилу розкосів  $45^\circ$ , відстань між вузлами 2 - 3 м.

Найраціональніший вузол - вузол з нульовою вставкою (рис.50).

Структурне покриття - багаторазово статично невизначена система. Її розраховують на ЕОМ.

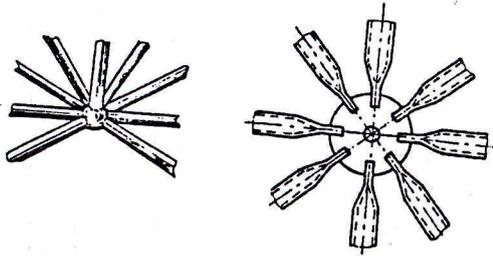


Рис.50. Вузли структурних конструкцій

Суть спрощеного розрахунку полягає в тому, що систему розраховують як опертю по контуру за допомогою таблиць. Знаючи згинальні моменти та поперечні сили на 1 п. м., легко визначити зусилля в поясах та розкосах.

Перерізи елементів вибирають як для сталевих ферм.

#### 8.4. Аркові конструкції великопролітних покриттів

Аркові конструкції застосовують у павільйонах, критих ринках, спортивних залах, ангарах. За витратами матеріалу арки значно вигідніші, ніж балкові та рамні конструкції.

За статичною схемою арки бувають (рис.51):

1. Двошарнірні.
2. Тришарнірні.
3. Безшарнірні.

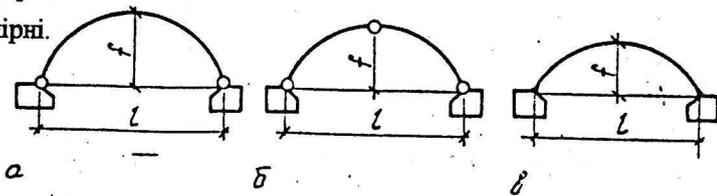


Рис.51. Системи арок: а-двошарнірна; б-тришарнірна; в-безшарнірна

Найвигідніші двошарнірні арки. Безшарнірні арки потребують потужних опор, крім того, їх треба розраховувати на температурні впливи.

У випадках обпирання на стіни застосовують арки з розтяжками. Абрис арки обирають наближеним до лінії тиску, але найвигідніше - за квадратною параболою або за колом. Найчастіше арки проектують з паралельними поясами, хоч вони бувають і серпасті (рис.52). Арки можуть бути суцільними або скрізними. Висота перерізу суцільної арки становить  $1/50 \dots 1/80$ ; а скрізної  $1/30 \dots 1/60$  прольоту.

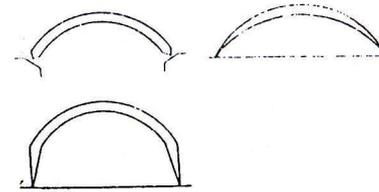


Рис.52. Обриси поясів арок

Суцільні арки проектують як зігнені двотаврові балки, а скрізні - як ферми.

Найскладніші елементи арок - опірні та ключові шарніри. Опірні шарніри бувають трьох типів: плиткові, п'ятикутні та балансірні (рис.53). Арки розраховують на вертикальні й вітрові навантаження. Розпір у двошарнірній арці визначають за формулою

$$H = \frac{M}{f},$$

де  $H$  - балковий момент;  
 $f$  - стріла підйому арки.

Зусилля в поясах

$$N_{\text{п}} = \frac{N}{2} \pm \frac{M}{h}$$

Зусилля в розкосі

$$N_{\text{р}} = \frac{Q}{2 \sin \alpha}$$

У виробничих будівлях: складальні цехи в літако-, корабле-, машинобудуванні.

Типи великопролітних конструкцій: балкові, рамні, аркові, просторові (оболонки, складки, структури, куполи, шатра), висячі (вантові і мембрани).

У плані можна перекривати прямокутні або будь-які інші будівлі.

Переважає навантаження на великопролітну конструкцію - власна вага, тому зменшення власної ваги конструкції має велике значення. Вигідно застосовувати сталі, алюмінієві сплави, легкі огорожувальні конструкції, раціональні статичні схеми, просторові конструкції і ін.

### 8.2. Балкові та рамні конструкції великопролітних покриттів

Балкові конструкції застосовуються у випадку, коли опоря не можуть сприймати розпірні зусилля (рис.48). Їх перевага - просте виготовлення. Майже завжди це ферми прольотом 50 ... 70 м і більше. Пояси і решітки в таких фермах можна виготовляти із двотаврів. Звичайно на будівельні майданчики такі ферми доставляють у вигляді окремих стержнів і збирають на місці на монтажних зварних або болтових з'єднаннях.

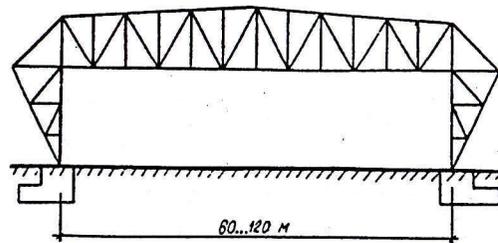
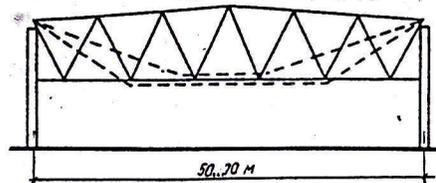


Рис.48.Балкове перекриття з попередньо напруженою фермою та схема наскрізної рами

Вигідно застосовувати попередньо напружені великопролітні ферми.

Застосовують одно- й дво - та безшарнірні рами. Безшарнірні рами потребують потужних фундаментів і чутливі до температурних впливів. Застосовують суцільні та наскрізні рами. Суцільні - прольоти 50 ... 60 м, наскрізні 100 ... 120 м. Статичні розрахунки проводять за методом сил або переміщень. Поперечні перерізи розраховуються за методами, що були викладені раніше.

### 8.3. Структурні покриття

Структурні покриття являють собою системи перехресних ферм. Найчастіше їх використовують у вигляді плоских покриттів, хоч їм і можна надавати й іншу форму.

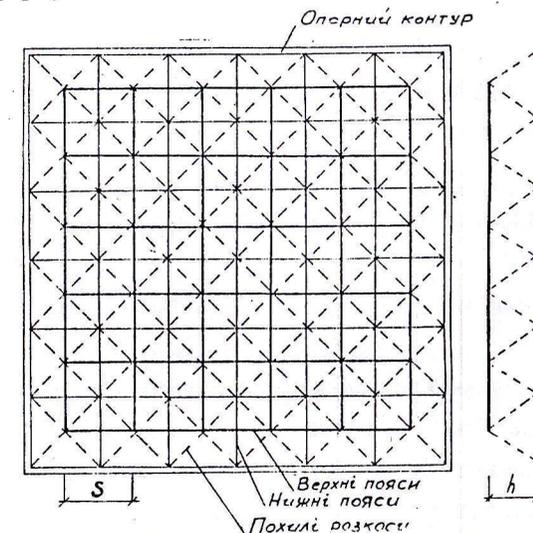


Рис.49.Схема структурного покриття

Усі елементи структури є однотипними. Структурні покриття мають ряд переваг:

1. Висока жорсткість.
2. Мала будівельна висота (1/16 - 1/20 прольоту).
3. Стандартність елементів.
4. Надійність у разі локальних пошкоджень.

Найдоцільніше перекривати квадратні приміщення. Покриття складають на поверхні землі, потім піднімають у проектне положення.