

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Вінницький національний технічний університет

**О. І. Сіянов**

**МЕТАЛЕВІ ЦИЛІНДРИЧНІ  
СТЕРЖНЕВІ ПОКРИТТЯ:  
КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2012

УДК 624.074.5

ББК 38.54

С 24

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 2 від 29.09.2011 р.)

Рецензенти:

**В. В. Стоянов**, доктор технічних наук, професор;

**О. І. Голоднов**, доктор технічних наук, професор;

**І. О. Сивак**, доктор технічних наук, професор

**Сіянов, О. І.**

С 24      Металеві циліндричні стержневі покриття: конструювання та розрахунок : монографія / О. І. Сіянов. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 140 с.

ISBN 978-966-641-469-7

У монографії викладено удосконалені конструктивні рішення металевих циліндричних стержневих покриттів. Наведено закономірності напружено-деформованого стану та нові варіанти вузлових з'єднань. Запропоновано методику розрахунку стійкості та розглянуто економічну ефективність застосування покриттів.

Для працівників науково-дослідних, проектних і виробничих організацій та студентів і аспірантів будівельних спеціальностей.

УДК 624.074.5

ББК 38.54

ISBN 978-966-641-469-7

© О. Сіянов, 2012

## ЗМІСТ

<b>УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ</b> .....	5
<b>ВСТУП</b> .....	9
<b>РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА, АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ</b> .....	10
1.1. Особливості циліндричних стержневих покриттів .....	10
1.2. Огляд застосування та впровадження циліндричних стержневих покриттів в Україні і за кордоном.....	15
1.3. Аналіз літературних джерел з розрахунку і конструювання.....	22
1.4. Вибір і обґрунтування загальних методологічних напрямків .....	30
Висновки .....	33
Література .....	34
<b>РОЗДІЛ 2. НАПРЯМКИ СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ СТЕРЖНЕВИХ ПОКРИТТІВ</b> .....	39
2.1. Удосконалення конструкції покриття.....	39
2.1.1. Введення в покриття затяжок .....	39
2.1.2. Введення в покриття горизонтальних ферм.....	43
2.2. Аналіз напружено-деформованого стану несучих конструкцій покриттів .....	45
2.3. Розробка ефективних конструктивних форм вузлових з'єднань ..	65
2.4. Практичні рекомендації з конструювання і впровадження .....	73
Висновки .....	77
Література .....	78
<b>РОЗДІЛ 3. ЗАГАЛЬНА СТІЙКІСТЬ ЦИЛІНДРИЧНИХ СТЕРЖНЕВИХ ПОКРИТТІВ</b> .....	80
3.1. Особливості загальної втрати стійкості.....	80
3.2. Виведення формули для визначення величини критичного навантаження циліндричних стержневих оболонок .....	83
3.3. Приклад аналітичного розрахунку стійкості оболонки та тестування одержаної формули.....	87
3.4. Визначення граничних параметрів оболонки за умови втрати стійкості .....	102

3.5. Стійкість оболонки з квадратною сіткою .....	107
3.6. Нелінійний аналіз деформування сітчастих оболонок.....	107
Висновки .....	112
Література .....	113
<b>РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ</b>	
<b>ЦИЛІНДРИЧНИХ СТЕРЖНЕВИХ ПОКРИТТІВ.....</b>	<b>115</b>
4.1. Техніко-економічне порівняння циліндричних стержневих покриттів без підкріплення, підкріплених затяжками та горизонтальними фермами .....	115
4.2. Оцінка ефективності використання циліндричних стержневих покриттів в порівнянні з плоскими і арочними системами .....	125
4.3. Рекомендації щодо раціонального використання циліндричних стержневих покриттів .....	127
Висновки .....	130
Література .....	131
<b>ДОДАТОК А. Програма розрахунку параметрів стійкості .....</b>	<b>133</b>
<b>ДОДАТОК Б. Фрагмент комп'ютерної роздруківки.....</b>	<b>134</b>
<b>ДОДАТОК В. Проект перекриття тенісного корту .....</b>	<b>135</b>
<b>ДОДАТОК Г. Акт про впровадження результатів .....</b>	<b>138</b>

## УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- $x$  – відносна координата уздовж твірної циліндра;  
 $x^1$  – криволінійна координата уздовж твірної циліндра;  
 $x^2$  – криволінійна координата за напрямком дуги циліндра;  
 $y$  – відносна координата уздовж дуги кола;  
 $z$  – відносна координата в напрямку нормалі;  
 $L$  – довжина покриття;  
 $B$  – ширина покриття;  
 $R$  – радіус кривизни серединної поверхні оболонки;  
 $R_0$  – радіус дуги поперечного перерізу оболонки;  
 $r$  – радіус кривизни покриття, радіус оболонки;  
 $f$  – стріла підйому, параметр, який визначає форму кривої деформації покриття;  
 $a$  – довжина елемента, розмір чарунки, висота ромба сітки покриття;  
 $b$  – довжина криволінійного контуру оболонки;  
 $l$  – довжина прямолінійного контуру оболонки;  
 $h$  – товщина суцільної оболонки;  
 $t$  – товщина стержневої оболонки, товщина стінки трубчастого перерізу елемента покриття;  
 $t_n$  – товщина сталюого профільованого настилу;  
 $i$  – радіус інерції поперечного перерізу елемента покриття;  
 $d$  – внутрішній діаметр трубчастого перерізу елемента;  
 $d$  – діаметр арматури підвісок горизонтальних ферм покриття;  
 $D$  – зовнішній діаметр трубчастого перерізу елемента оболонки;  
 $D$  – циліндрична жорсткість оболонки;  
 $A$  – амплітуда збурення оболонки;  
 $A$  – площа поперечного перерізу елемента оболонки;  
 $A_{bn}$  – площа поперечного перерізу болта по різьбі;  
 $A_3$  – сумарна площа перерізів проволочок, які складають затяжку;  
 $A_{зат}$  – площа перерізу затяжки;  
 $A_n$  – площа поперечного перерізу пояса в поперечних ребрах оболонки;

$J$  – момент інерції поперечного перерізу елемента сітки із площини, яка дотична до серединної поверхні оболонки;

$J_{\Pi}$  – момент інерції поперечного перерізу пояса в поперечних ребрах відносно осі, яка дотична до кривизни покриття;

$J_{кр}$  – момент інерції поперечного перерізу елемента сітки у випадку кручення;

$E$  – модуль пружності матеріалу оболонки;

$E_c$  – модуль пружності елемента стержневого покриття;

$R_{br}$  – розрахунковий опір болта на розтяг;

$R_{bun}$  – найменший тимчасовий опір високоміцної сталі розриву після термічної обробки болта;

$R_3$  – розрахунковий опір матеріалу затяжки покриття;

$N_{max}$  – максимальні зусилля в елементах покриття;

$N_i$  – розрахункове зусилля в  $i$ -му елементі покриття;

$N_1$  – погонні нормальні зусилля, які діють в поперечних перерізах оболонки;

$N_2$  – погонні нормальні зусилля, які діють в поздовжніх перерізах оболонки;

$N_{кр}$  – погонне рівномірно розподілене критичне зусилля оболонки;

$N_F$  – зусилля в затяжці від навантажень на покриття;

$S$  – погонні зсувні зусилля, які діють в поперечному та поздовжньому перерізах оболонки;

$Q_x$  – поперечні зусилля оболонки за напрямком  $x$ ;

$Q_y$  – поперечні зусилля оболонки за напрямком  $y$ ;

$p_y$  – докритичне напруження оболонки;

$\sigma_{ст}$  – допустиме напруження в стиснутому елементі за умовою стійкості оболонки;

$\sigma_{max}$  – максимальні напруження в елементах покриття;

$\sigma_{max}^+$  – максимальні напруження розтягу в елементах покриття;

$\sigma_{max}^-$  – максимальні напруження стиску в елементах покриття;

$\delta_{y max}$  – максимальні горизонтальні переміщення вузлів покриття;

$\delta_{z max}$  – максимальні вертикальні переміщення вузлів покриття;

$w$  – прогин оболонки;

$u$  – переміщення точки оболонки уздовж  $x$ ;

$v$  – переміщення точки оболонки уздовж  $u$ ;  
 $q$  – поверхневе рівномірно розподілене навантаження на оболонку;  
 $q_e$  – поверхневе рівномірно розподілене експлуатаційне навантаження на оболонку;  
 $q_m$  – поверхневе рівномірно розподілене критичне навантаження місцевої втрати стійкості оболонки;  
 $q_z$  – поверхневе рівномірно розподілене критичне навантаження загальної втрати стійкості оболонки;  
 $\bar{q}$  – безрозмірне критичне навантаження на оболонку;  
 $q_{кр}$  – поверхневе рівномірно розподілене критичне навантаження на оболонку;  
 $q_{кр.в}$  – поверхневе рівномірно розподілене верхнє критичне навантаження на оболонку;  
 $q_{кр.н}$  – поверхневе рівномірно розподілене нижнє критичне навантаження на оболонку;  
 $q_{кр.лін}$  – поверхневе рівномірно розподілене лінійне критичне навантаження на оболонку;  
 $F_{кр}$  – зосереджена критична сила на ширині чарунки оболонки;  
 $G$  – витрати сталі на несучі конструкції покриття;  
 $G_{б.п.}$  – витрати сталі на несучі конструкції покриття без підкріплень;  
 $G_{п.з.}$  – витрати сталі на несучі конструкції покриття, підкріпленого зтяжками;  
 $G_{г.ф.}$  – витрати сталі на несучі конструкції покриття, підкріпленого горизонтальними фермами;  
 $G_{п.с.}$  – витрати сталі на несучі конструкції плоских систем;  
 $G_{б.п.(заг.)}$  – загальна маса покриття без підкріплень;  
 $G_{п.з.(заг.)}$  – загальна маса покриття, підкріпленого зтяжками;  
 $G_{г.ф.(заг.)}$  – загальна маса покриття, підкріпленого горизонтальними фермами;  
 $G_{п.с.(заг.)}$  – загальна маса плоских систем;  
 $G_{а.с.(заг.)}$  – загальна маса арочних систем;  
 $G_{б.п.(м^2)}$  – витрати сталі на  $1 \text{ м}^2$  площі приміщення під покриття без підкріплень;

$G_{п.з.(м^2)}$  – витрати сталі на  $1 м^2$  площі приміщення під покриття, підкріпленого затяжками;

$G_{г.ф.(м^2)}$  – витрати сталі на  $1 м^2$  площі приміщення під покриття, підкріпленого горизонтальними фермами;

$G_{п.с.(м^2)}$  – витрати сталі на  $1 м^2$  площі приміщення під покриття з плоских систем;

$G_{а.с.(м^2)}$  – витрати сталі на  $1 м^2$  площі приміщення під покриття з арочних систем;

$\alpha R$  – довжина дуги оболонки;

$\alpha R_0$  – довжина дуги циліндричної поверхні оболонки;

$EJ$  – згинальна жорсткість елемента стержневої оболонки;

$EA$  – мембранна жорсткість елемента стержневої оболонки;

$m$  – кількість граней покриття;

$m$  – число півхвиль вигнутої поверхні уздовж твірної циліндра;

$n_{1/4}$  – кількість панелей в чвертях покриття;

$n_{\phi}$  – кількість панелей в гранях покриття;

$n$  – число півхвиль в напрямку кола;

$c$  – коефіцієнт урахування недосконалостей, залишкових напружень та ін.;

$g$  – маса  $1 м^2$  покриття;

$k_3$  – коефіцієнт запасу;

$s$  – коефіцієнт заповнення сітки стержневої оболонки;

$\alpha$  – кут описаного кола покриття;

$\phi_3$  – несуча здатність затяжки на розтяг;

$\gamma_n$  – коефіцієнт надійності болтового з'єднання елементів покриття;

$\phi$  – гострий кут між напрямком твірної і віссю  $z$ ;

$\nu$  – коефіцієнт Пуассона;

$\varpi_1$  – коефіцієнт умов роботи проволоч;

$\varpi_2$  – коефіцієнт умов роботи конструкції кріплення затяжки;

$\varpi_3$  – коефіцієнт умов роботи покриття.



## ВСТУП

Розвиток сучасних металоконструкцій в Україні потребує розробки, проектування і впровадження економічних і надійних систем для ефективного застосування в будівництві. Особливий інтерес при цьому приділяється оболонковим конструкціям з металу, зокрема одношаровим циліндричним стержневим покриттям, адже сама така їх форма вирішує важливу в наш час проблему ресурсозбереження. Такі системи мають високі техніко-економічні показники і дозволяють виконувати складання вказаних конструкцій в найкоротші терміни. Вони можуть використовуватись в об'єктах виробничого (склади, майстерні...), цивільного (ринки, павільйони...) і сільського (с/г ферми, теплиці...) призначення. Переваги їх по відношенню до інших систем полягають у можливості максимальної уніфікації елементів, сумісності роботи усіх елементів, можливості повністю використовувати несучу здатність матеріалу через рівномірне напруження перерізів стержнів, відносній легкості та архітектурній виразності, великих корисних площах.

Необхідність подальшого дослідження викликана тим, що при збільшенні прольотів споруд мають місце значні переміщення вузлів і можливість загальної втрати стійкості покриттів. Існуючі методи розрахунку таких систем на стійкість мають наближений характер і є узагальненими для різних форм стержневих оболонок. Крім того в науковій літературі відсутні прості, разом з тим, надійні формули розрахунку загальної стійкості одношарових циліндричних стержневих покриттів, такі, які є для суцільних тонких циліндричних оболонок. Існують лише багатокоштовні програмні комплекси, які є малодоступні для широкого використання.

Таким чином, необхідність одержання нових, більш ефективних систем з одного боку, і недосконалість методу теоретичного розрахунку загальної стійкості, з іншого, вимагають проведення спеціальних досліджень таких покриттів.

Отже, ці та інші питання безумовно вплинули на вибір теми монографії, в якій розглянуто теоретичне дослідження одношарових циліндричних стержневих покриттів з розробкою нових систем і заходів щодо зменшення переміщень вузлів та підвищення загальної стійкості системи в цілому.

# РОЗДІЛ 1

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА, АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ

### 1.1. Особливості одношарових циліндричних стержневих покриттів

Як відомо [1], для перекриття значних прольотів і створення великих корисних площ одношарові циліндричні стержневі покриття (рис. 1.1) є ефективними великопрольотними конструкціями, складання яких можна виконувати з уніфікованих елементів. Доцільність використання таких покриттів викликана зменшенням кількості граней на покриття, порівняно із системами, грані яких розташовані по параболі (рис. 1.2).

Конструкцію покриття можна виконувати як квадратної, так і прямокутної форми в плані, в залежності від форми площі, що перекривається. Система зручна тим, що може мати чотири точки опори, або у випадку необхідності спиратися на дві торцеві стіни. Такі покриття можна збирати як з окремих плоских граней (ферм), що набираються поздовж твірної циліндра, так і з окремих елементів (стержнів), жорстко з'єднаних між собою в місцях перетину. Осі елементів утворюють на циліндричній поверхні сітку, звідки і друга назва цих конструкцій – сітчасті. Форма сітки може бути різноманітною (табл. 1.1), однак згідно з дослідженнями, проведеними В. Д. Сverdlovим [1], перевагу при виготовленні одержує схема покриття з поперечними і з поздовжніми ребрами та з низхідними розкосами (рис. 1.3) через однотипність плоских ферм, з яких збирається покриття. Якщо за критерій оптимальності брати економію матеріалу, без урахування питань типізації, як описано в роботі [1], то найбільш економічною за витратами сталі буде схема покриття з трикутною граневою сіткою з поздовжніми ребрами (рис. 1.4). Як сказано в роботі [2], характерно те, що з одних стандартних елементів можна збирати покриття різних розмірів як в поперечному, так і в поздовжньому напрямку. Для виготовлення стержнів можуть застосовуватись гнуті профілі та тонкостінні труби із легких алюмінієвих сплавів, що відкриває можливість ефективно поєднувати функції несучих та огорожуючих конструкцій в одних і тих

же елементах. Завдяки великій кількості стержнів, що сходяться в кожному вузлі, розподілення зусиль між стержнями цих конструкцій більш раціональне. Крім того напруження в елементах рівномірно розподіляються по всьому перерізу і, як наслідок, матеріал конструкції ефективно використовується. Кожний стержень зазнає лише дію осевих зусиль розтягу або стиску. Такий характер розподілу зусиль забезпечує менші витрати матеріалів в циліндричних системах, ніж в інших конструкціях.

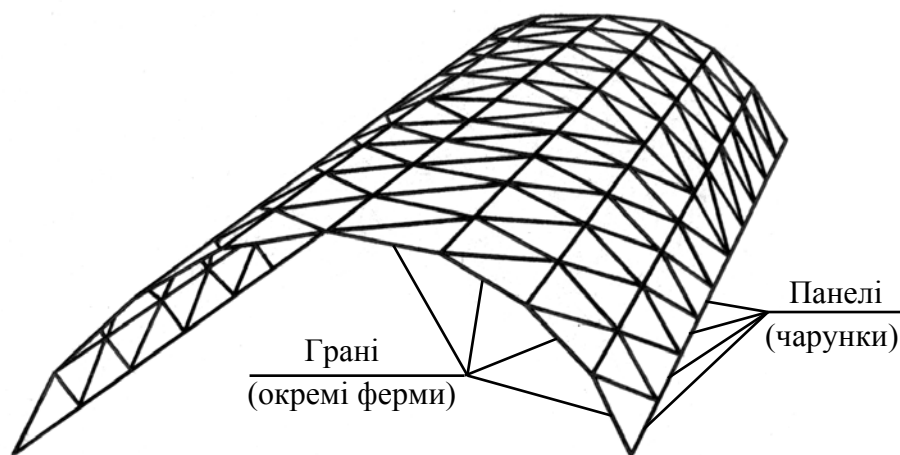
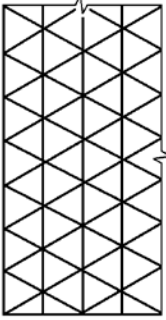
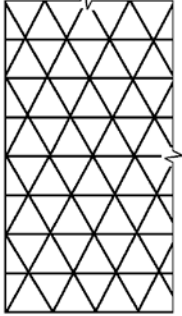
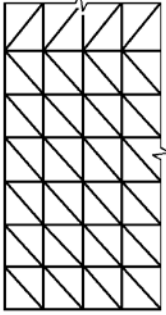
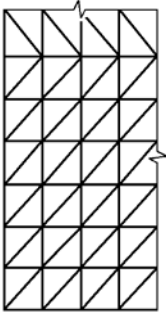


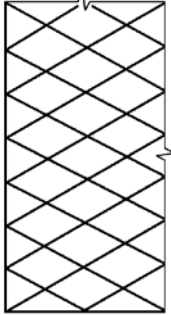
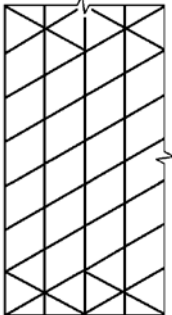
Рис. 1.1. Схема одношарового циліндричного стержневого покриття

Характерною ознакою одношарових циліндричних стержневих покриттів є також і те, що їх застосування дає можливість добре використовувати внутрішній простір споруди, оскільки всі елементи розташовані в площині покриття. До того ж, як показали дослідження [1, 2] з витрат сталі і вартості, одношарові циліндричні стержневі покриття при відповідних співвідношеннях параметрів є більш економічними, ніж плоскі системи.

Такі покриття за формою наближаються до суцільних систем і при цьому вони не тільки замінюють останні, а можуть також використовуватись у тих випадках, коли через форму або величину прольоту будівництво суцільного покриття є вкрай важким або неможливим. Раціонально також використовувати ці системи у важкодоступних місцях, де ускладнені умови монтажу і немає можливості доставки важких залізобетонних конструкцій.

**Класифікація сіток одношарового циліндричного  
стержневого покриття**

Сітка		Форма
вихідна	похідна	
Трикутна	з поздовжніми ребрами	
	з поперечними ребрами	
	з поздовжніми і поперечними ребрами	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>з низхідними розкосами</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>з висхідними розкосами</p>  </div> </div>

Сітка		Форма
вихідна	похідна	
Ромбічна	—	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>пряма</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>навскісна</p>  </div> </div>

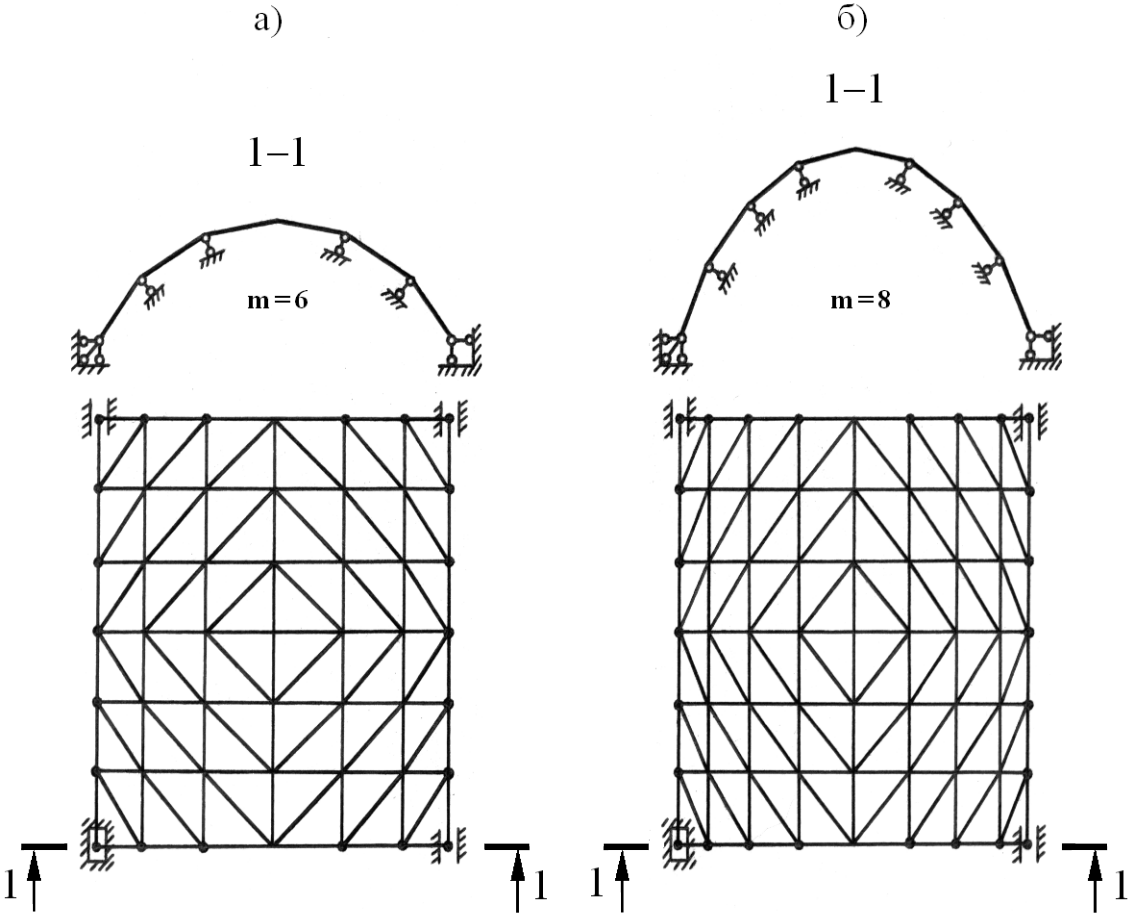


Рис. 1.2. Характерні форми покриття: а) кругова; б) параболічна

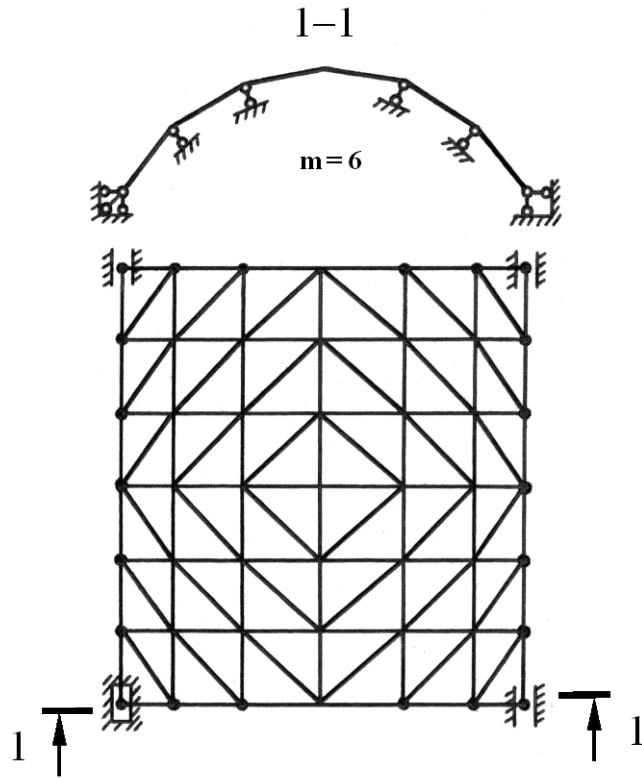


Рис. 1.3. Схема покриття з поперечними та поздовжніми ребрами (розкоси низхідні)

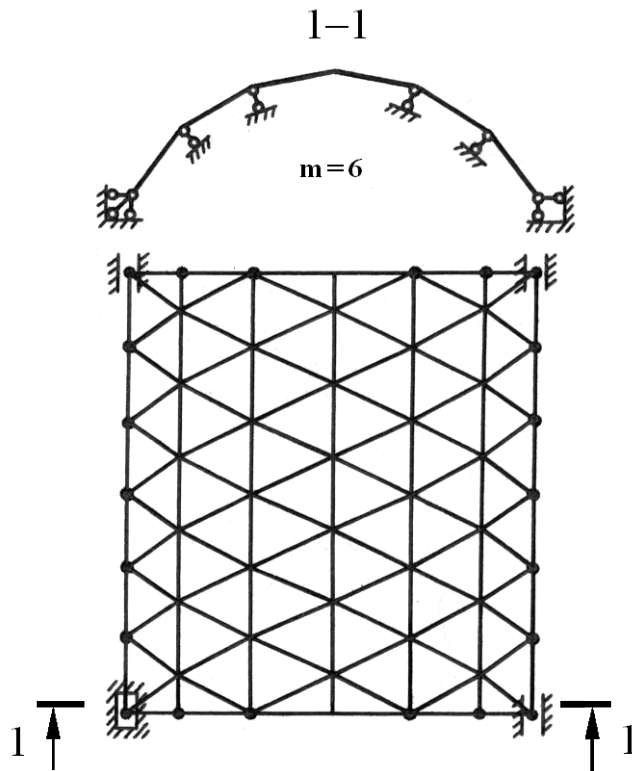


Рис. 1.4. Схема покриття з поздовжніми ребрами

При будівництві одношарових циліндричних стержневих покриттів не потрібне застосування важких підйомних механізмів; можуть використовуватись тільки окремі тимчасові кріплення або опори, які знімають після повного замикання конструкції. Простота монтажу, яка обумовлена просторовою структурою, є одним з істотних ознак одношарових циліндричних стержневих покриттів. До того ж слід відзначити і простоту улаштування сітки під покрівлю та зручну конструкцію світлових ліхтарів, яка дозволяє легко одержати світлові площі великих розмірів, що також доповнює переваги одношарових циліндричних стержневих покриттів.

Проте недоліком таких покриттів є їх уразливість на загальну стійкість, що потребує удосконалення розрахункового апарату, який потрібний при проектуванні.

Отже, узагальнюючи особливості цих систем, зробимо деякі висновки.

1. Одношарові циліндричні стержневі покриття є прогресивними конструкціями, застосування яких дає можливість зменшити масу і вартість покриттів.

2. Можна передбачити, що використання таких покриттів буде доцільне у зв'язку з появою цілої низки легких матеріалів для виготовлення несучих та огорожуючих елементів конструкцій.

3. Недоліками одношарових циліндричних стержневих покриттів є те, що такими конструкціями неможливо перекривати споруди надто великих прольотів, а також вони менш стійкі, ніж структурні системи, і тому при їх проектуванні необхідно використовувати більш уточнений математичний апарат розрахунку.

## **1.2. Огляд застосування та впровадження циліндричних стержневих покриттів в Україні і за кордоном**

Особливий інтерес до таких покриттів виник на початку ХХ століття у зв'язку з появою потреби у нових, достатньо легких, надійних та технологічних системах.

В Україні, як відомо [3], першою спорудою такого типу стало циліндричне покриття «Критої галереї» системи Фьоппля, яке було побудоване у 1913 році в м. Києві на Троїцькій площі за проектом

К. К. Симінського. Загальна довжина покриття становила 102 м, поперечний проліт 15 м, відстань між фермами жорсткості 25,6 м, довжина панелі 3,2 м. Згодом, у 1928 році над конференц-залом Української Академії Наук в м. Києві з'являється ще одне циліндричне покриття системи К. К. Симінського з розмірами в плані 20×12 м і масою конструкції 4,2 т.

У 1930 році за проектом П. Г. Бугайця і М. Т. Кохан [4] будується дерев'яне циліндричне покриття системи К. К. Симінського над високовольною лабораторією КПІ з розмірами в плані 30×18 м, а у 1932 році за проектом П. Г. Бугайця закінчується будівництво дерев'яного циліндричного покриття над цехом деревообробної фабрики в м. Києві. Оскільки цех мав значну довжину, все покриття по довжині було розбито діафрагмами на секції. Відношення довжини до ширини секції складало біля одиниці.

Застосування такої системи покриття дало можливість значно збільшити корисну кубатуру приміщення при порівняно невисоких стінах будівлі, зменшити витрати матеріалів на ферми та спростити виробництво робіт.

У 1947 році в Українському науково-дослідному інституті споруд (УкрНДІС) канд. техн. наук А. О. Цейтліним в роботі [5] були запропоновані оригінальні сітчасті конструкції двоякої кривизни. За основу брався прямолінійний стержень і будувалась вузька хвиля арки, що набувала форму лінійчатої поверхні. Набором хвиль складалось покриття будь-якої довжини. Такі системи призначались для перекриття споруд значних прольотів із металевих і дерев'яних стержнів.

Питанням застосування та впровадження просторових циліндричних стержневих покриттів багато уваги приділялось і за кордоном. Так, в Німеччині, як стверджує автор роботи [6], були вперше розроблені і застосовані конструкції типу «Руланд». Це одношарові циліндричні стержневі покриття, які збираються з уніфікованих елементів. Такі покриття на сьогодні вже впроваджені у виробництво і серійно випускаються для прольотів до 21 м. В якості стержнів застосовуються гарячекатані безшовні труби із сталі марки St35. Досліджувалась можливість застосування зварних труб.



В роботі [7] наводиться приклад покриття із зварних криволінійних профілів прольотом 19,5 м, довжиною 24 м і висотою 7,8 м, яке було побудоване для тераси коледжу в Парижі (рис. 1.5).

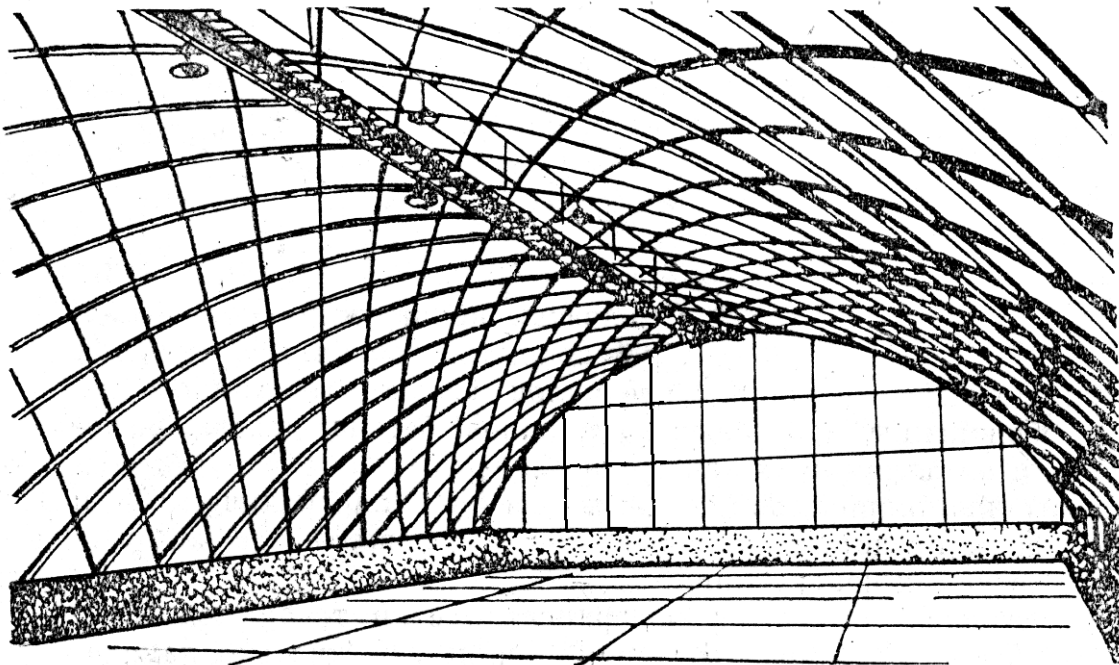


Рис. 1.5. Одношарове циліндричне стержневе покриття тераси коледжу в Парижі

Конструктивними елементами такого покриття є таврові сталеві профілі з криволінійною верхньою полицею, які за допомогою зварювання з'єднуються між собою в місцях перетину. Ефективний тавровий профіль, який був одержаний при поєднанні вертикального листа з половиною трубчастого перерізу, дозволив забезпечити необхідну жорсткість елементам і з достатньою для експлуатації надійністю утримати положення ромбічних чарунок сітки без зміни геометрії конструкції.

Обпирання покриття було здійснено на рівні землі, безпосередньо на фундаментну балку. В якості покрівлі використані листи з армованого скла.

Як відомо, у спорудах з надто великими прольотами застосовувались біповерхневі (двошарові) стержневі системи (рис. 1.6 [8]), які сприяли збільшенню жорсткості і стійкості ланок покриття.

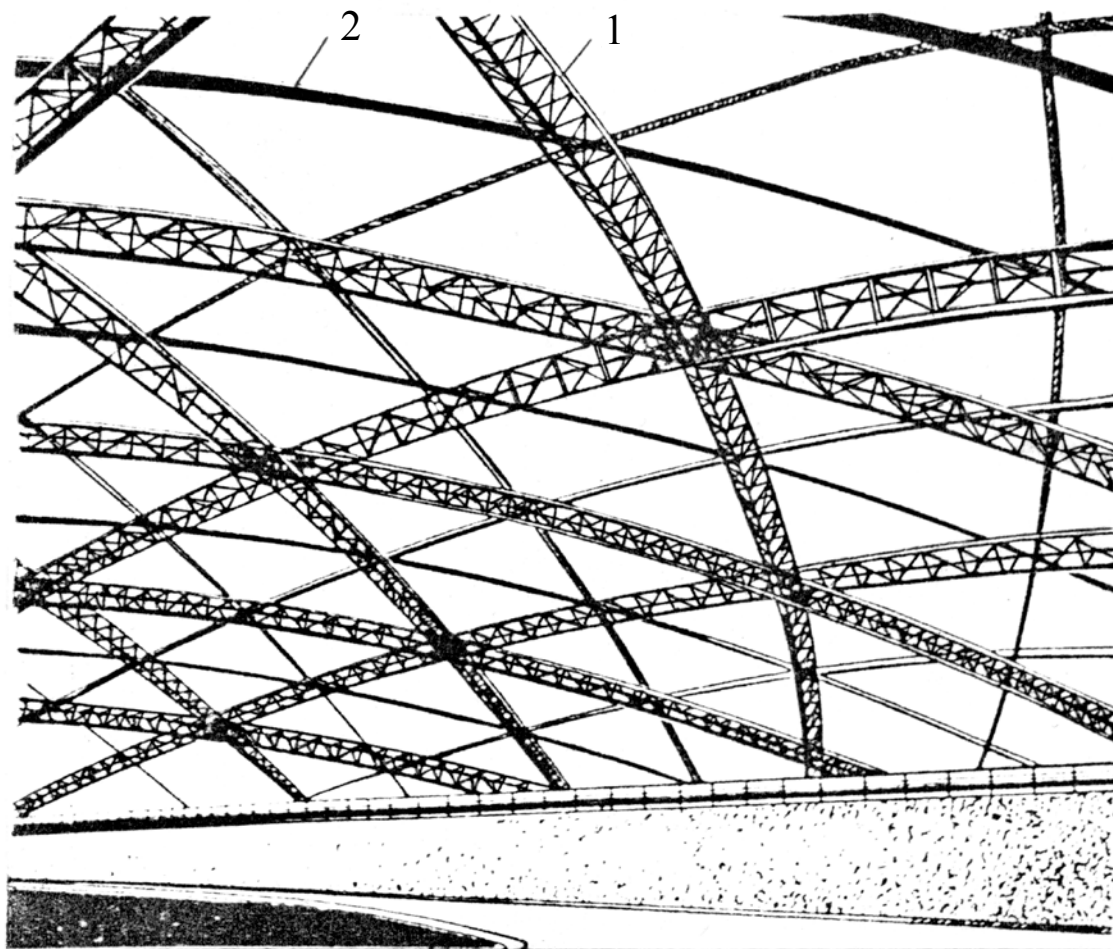


Рис. 1.6. Двошарове циліндричне стержневе покриття з просторовими стержнями із тригранних ферм:  
1 – просторові стержні (утворюють основну сітку);  
2 – суцільні стержні (прогони покрівлі)

Прикладом такої конструкції є полого циліндричне стержневе покриття прольотом 68 м, довжиною 88,4 м і висотою 9,3 м, яке побудоване над аудиторією університету в штаті Техас (США). В конструктивному відношенні покриття складалось із 350-ти сталевих криволінійних ферм з паралельними поясами, які з'єднувались між собою в місцях перетину і збігались з твірною циліндричної поверхні. При цьому кожна ферма мала довжину 11,8 м і висоту 0,61 м. Перетинаючись, ферми на поверхні покриття утворювали велику ромбічну сітку, причому відстань між фермами складала 3,66 м. Це дозволило одержати малі витрати матеріалу на конструкції, адже маса сітки покриття становила  $40 \text{ кг/м}^2$ .

Конструкцію покриття монтували за допомогою крана збільшеними блоками шляхом підйому зібраних на землі кількох чарунок сітки. Весь процес монтажу був проведений в короткі терміни і не перевищив 25 днів.

Ще одним прикладом двошарової циліндричної стержневої системи є покриття спортивного залу з розміром в плані  $90 \times 70$  м, побудованого в Сан-Хорхе (Аргентина). Покриття прольотом 70 м і стрілою підйому 9 м має в поперечному напрямку обрис кола з радіусом 60 м. Конструкція складається з перехресних сітчастих арочних ребер, які утворюють ромбічні чарунки з розміром по діагоналі  $10,3 \times 5,4$  м. Ребра зібрані в однаковий сітчастий чотиригранний елемент, дещо зігнутий у зв'язку з кривизною покриття.

В Японії спортивний зал в м. Нагоя перекритий циліндричним покриттям з розміром  $65 \times 65$  м у вигляді двоярусної сітчастої системи.

Циліндричне покриття з перехресних діагональних елементів прольотом 80 м побудовано в США. Воно складається з похилих арок та коротких елементів, які примикають до них під кутом  $60^\circ$ .

В Англії побудовано декілька ангарів, перекритих сітчастими покриттями системи *Zamella* прольотом до 50 м [9].

Як описано в роботі [7], у м. Прага в 1964 році проектною організацією *Металургпроект* також розроблені і застосовані циліндричні стержневі покриття. Вони складаються із металевих трубчастих ферм з паралельними поясами, що з'єднуються між собою в місцях перетину. Утворюючи таким чином ромбічну сітку зі стороною ромба 8,0 м, ферми перетинаються між собою під кутом  $37^\circ$  ( $2 \times 18^\circ 34' 34''$ ).

Такі конструкції на сьогодні вже впроваджені у практику будівництва, прикладом яких можуть бути спортивні споруди в м. Кладно (Польща), які побудовані з розміром покриття  $59,9 \times 58,3$  м і стрілою підйому  $f = 8,5$  м та в Берліні для товариства «Динамо».

Циліндричні стержневі покриття великих розмірів запроєктовані і для спортивної споруди в м. Люберці з розмірами в плані  $75,0 \times 186,6$  м і стрілою підйому  $f = 10$  м. В конструктивному відношен-

ні основними елементами покриття є ферми з паралельними поясами висотою 0,75 м, довжиною біля 8,0 м, масою 200 кг. Верхній пояс ферм виконаний з труб діаметром 60×3 мм, нижній – з труб діаметром 51×3 мм.

Особливим попитом такі покриття користуються в Польщі. Так в м. Кладно було виготовлено біля 100 шт. подібних ферм. Найбільш складна частина конструкції – з'єднання ферм, що підпадають під перетин. Цей недолік потребує удосконалення конструктивних рішень і особливо місць примикання складових елементів (ферм) покриття та вузлових з'єднань.

В роботах [10–12] описано циліндричне стержневе покриття над спортивної ареною «Arcushaller», яке було побудоване в м. Лулес (Швеція) з розмірами в плані 85×144 м і складалось із одинадцяти сітчастих двохарнірних просторових арочних ферм прольотом 85,1 м і стрілою підйому 16,1 м, які є головними несучими конструкціями покриття. Крок арок в поздовжньому напрямку будівлі складає 12,5 м. Всі елементи арок виконані із сталі марки PhS, клас якості SS – 2132. Маса ферми складає 17,5 т.

Отже, аналіз вітчизняних і закордонних даних свідчить про те, що потреба в таких конструкціях існує. Інформація про побудовані циліндричні стержневі покриття подана в табличній формі (табл. 1.2), де наведений їх розподіл по різних країнах світу для одно- і двохарових систем.

Доцільність застосування та впровадження циліндричних стержневих покриттів викликана такими факторами:

- 1) зменшенням витрат сталі і вартості покриттів в порівнянні з традиційними плоскими структурами;
- 2) можливістю перекриття значних прольотів без додаткових опор чи колон;
- 3) типізацією елементів та архітектурною виразністю системи в цілому.

## Література

1. Лихтарников Я. М. Техничко-економические основы проектирования строительных конструкций / Я. М. Лихтарников, Н. С. Летников, В. Н. Левченко. – Киев – Донецк : Вища школа, 1980. – 239 с.
2. Свердлов В. Д. Ефективні стержневі конструкції покриттів / В. Д. Свердлов, О. Д. Бойчук, О. І. Сіянов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. – № 4. – С. 20–24.
3. Сіянов О. І. Аналіз можливих конструктивних рішень і деякі аспекти технології монтажу металевих одношарових циліндричних стержневих покриттів / О. І. Сіянов // Дороги і мости : збірник наукових праць. В 2-х томах : Т. II. – К. : ДерждорНДІ, 2007. – Вип. 7. – С. 179–183.
4. Рекомендации по определению технико-экономических показателей при сравнении вариантов стальных конструкций промышленных зданий в процессе проектирования / ЦНИИпроектстальконструкция. – М., 1973. – 40 с.
5. Трофимов В. И. Техничко-економические показатели структурных конструкций системы «ЦНИИСК» / В. И. Трофимов, Ю. А. Чернов // Пром. стр-во. – 1977. – № 8. – С. 6–8.
6. Хисамов Р. И. Определение технико-экономических показателей структурных покрытий / Р. И. Хисамов, Л. А. Исаева. – Казань, 1979. – 79 с.
7. Руководство по применению стального профилированного настила в утепленных покрытиях производственных зданий / ЦНИИПСК им. Мельникова. – М., 1982. – 24 с.
8. Трущев А. Г. Пространственные металлические конструкции : учеб. пособие для вузов / А. Г. Трущев. – М. : Стройиздат, 1983. – 215 с.
9. Сіянов О. І. Покрівля для одношарових циліндричних стержневих покриттів / О. І. Сіянов // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : збірник наук. праць. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2006. – № 3. – С. 23–27.
10. Свердлов В. Д. Металеві циліндричні стержневі покриття : монографія / В. Д. Свердлов, О. І. Сіянов. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1999. – 134 с. – ISBN 966-7199-41-X.

11. Патцельт О. Стальные решетчатые пространственные конструкции : пер. с немецк. / О. Патцельт. – М. : ЦИНИС Госстроя СССР, 1970. – 95 с.
12. ДБН IV-4-97. Збірник єдиних середніх кошторисних цін на матеріали, вироби і конструкції (ЗЄКЦ-97). Частина II. Будівельні конструкції та вироби. – К. : Видання ІНПРОЕКТ, 1997. – 169 с.
13. ДБН. ОРУ-97, Сб. 1–25. – К. : Изд-во Созидатель, 1997. – 128 с.
14. ДБН. СНУ-93, Сб. 9. Металлические конструкции. – К. : Изд-во Дизайн Принт. – Днепропетровск, 1993. – 51 с.
15. Свердлов Владимир Деонисович. Исследование пространственных цилиндрических стержневых систем покрытий : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Свердлов Владимир Деонисович. – Киев, 1977. – 174 с. – Библиогр. : с. 153–161.
16. Свердлов В. Д. Совершенствование цилиндрических стержневых систем покрытий / В. Д. Свердлов, А. И. Сиянов : труды Междунар. конф. «Теория и практика металлических конструкций», 2–4 декаб. 1997 г., Донецк-Макеевка. Т. 2. – Донецк – Макеевка, 1997. – С. 37–41.
17. Сіянов О. І. Доцільність застосування металевих циліндричних стержневих покриттів в конкретних об'єктах будівництва / О. І. Сіянов // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : збірник наук. праць. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2004. – С. 114–116.
18. Свердлов В. Д. Одношарові циліндричні стержневі покриття (перспективи, проблеми, шляхи вирішення) / В. Д. Свердлов, О. І. Сіянов : матеріали республіканської наук.-техн. конф. «Індивідуальний житловий будинок», 25–27 верес. 2001 р., – Вінниця. – 2001. – С. 10–14.
19. Сіянов О. І. Металеві одношарові циліндричні стержневі покриття : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Сіянов Олександр Ілліч ; ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В. М. Шимановського». – К., 2002. – 19 с.

*Наукове видання*

**Сіянов Олександр Ілліч**

**МЕТАЛЕВІ ЦИЛІНДРИЧНІ  
СТЕРЖНЕВІ ПОКРИТТЯ:  
КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено автором

Підписано до друку 31.05.2012 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 8,08  
Наклад 100 прим. Зам № 2012-076

Вінницький національний технічний університет,  
КІВЦ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-81-59  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.