

# ЗМІСТ

---

Передмова .....	7
-----------------	---

## Розділ 1

<b>Попередньо обтисні залізобетонні конструкції та їх властивості .....</b>	<b>9</b>
---	----------

<i>1.1. Способи створення попереднього напруження в залізобетонних конструкціях.....</i>	<i>9</i>
--	----------

<i>1.2. Вплив попереднього обтиснення на фізико-механічні властивості бетону.....</i>	<i>17</i>
---	-----------

<i>1.3. Аналіз методів розрахунку несучої здатності обтиснених залізобетонних елементів.....</i>	<i>25</i>
--	-----------

<i>1.4. Висновки та завдання досліджень.....</i>	<i>31</i>
--	-----------

<i>Завдання досліджень .....</i>	<i>32</i>
----------------------------------	-----------

## Розділ 2

<b>Метод попереднього обтиснення залізобетонних конструкцій – на суміш .....</b>	<b>34</b>
--	-----------

<i>2.1. Методи попереднього напруження залізобетонних конструкцій.....</i>	<i>34</i>
--	-----------

<i>2.2. Способи виготовлення залізобетонних елементів з натягом арматури на свіжоукладену бетонну суміш.....</i>	<i>36</i>
--	-----------

<i>2.3. Технологія виготовлення обтиснених стояків.....</i>	<i>50</i>
---	-----------

## Розділ 3

<b>Результати випробувань і їх аналіз .....</b>	<b>57</b>
---	-----------

<i>3.1. Міцність і деформативність бетону та арматури.....</i>	<i>57</i>
--	-----------

<i>3.2. Результати випробувань залізобетонних балок.....</i>	<i>68</i>
--	-----------

<i>3.3. Результати випробувань залізобетонних колон.....</i>	<i>77</i>
--	-----------

## **Розділ 4**

### **Методика розрахунку несучої здатності залізобетонних конструкцій .....**

84

#### *4.1. Міцність обтисненого бетону*

##### *матрично-каркасної структури .....*

84

#### *4.2. Рівняння напруженого стану арматурної сталі .....*

94

#### *4.3. Напружено-деформований стан залізобетонних*

##### *елементів круглого і кільцевого перерізів .....*

103

#### *4.4. Контроль якості*

##### *обтиснених залізобетонних конструкцій .....*

114

### **Список використаних джерел .....**

127

# ПЕРЕДМОВА

---

Штучне середовище, початку третього тисячоліття, характеризується широким використанням бетонів як будівельних матеріалів. Домінуюче положення цементного бетону в будівництві пояснюється наявністю необмежених сировинних матеріалів у земній корі, порівняно низькою їх вартістю добрими фізико-механічними властивостями бетону. Крім того, суб'єктивна діяльність науковців і практиків по вдосконаленню високоміцних бетонів, поліпшенню їх фізико-механічних властивостей, забезпечує йому провідне місце серед будівельних матеріалів.

Кінцевим результатом низки удосконалень є раціональне застосування бетону в елементах і конструкціях будов. Поєднання позитивних якостей бетону й сталі в залізобетонних елементах забезпечило провідне місце матеріалу в несучих будівельних конструкціях. Застосування попереднього напруження в залізобетонних елементах дозволило людству мати відносно дешеві, тріщиностійкі й довговічні конструкції для будівель та споруд. Ще в першій половині двадцятого сторіччя були запропоновані два принципові методи попереднього напруження арматури й обтиснення бетону – «на упори» та «на затверділий бетон». На сьогодні існує не одна сотня пропозицій щодо реалізації цих методів. Більшість з них добре вивчені, і деякі з кращих застосовуються на практиці. Майже всі ці пропозиції можна об'єднати бодай за однією прикметою – як такі, що передбачають передачу попередньої напруги арматури на затверділий міцний бетон.

Можливості створення нових, більш ефективних способів попереднього напруження залізобетонних конструкцій у вузьких рамках одного принципу передачі зусилля попереднього напруження багато в чому вже вичерпані. На думку більшості фахівців, це спричинило до сповільнення прогресу у даному напрямі. В такій ситуації для розвитку необхідний якісний перехід до нових принципових положень щодо попередньо-напруженого бетону та залізобетону, який би створив прецедент для швидкого розквіту ідей та розробок.

Працюючи над цією проблемою, автор запропонував створювати попереднє напруження ще на стадії суміші компонентів цементного бетону. Тобто, не чекаючи затвердіння бетону, здійснювати передачу на нього зусилля попереднього обтиснення. При цьому бетонна суміш ущільнюється і твердне під тиском, що призводить до значного збільшення міцності бетону в конструкції. Попереднє напруження в арматурі зберігається, так як після ущільнення спеціально підібраного складу бетонної суміші створюється досить міцний і жорсткий каркас з твердих її компонентів, на який повністю або частково і закріплюється напружена арматура. Таким чином за одну технологічну операцію досягається подвійний ефект – ущільнення бетонної суміші обтисненням та натягання арматури. В результаті маємо достатню тріщиностійкість і високу міцність залізобетонних конструкцій.

Шлях до реалізації принципу передачі зусилля попереднього напруження на свіжоукладену бетонну суміш вимагає винайдення нових технологічних вирішень, створення оригінальних, рухомих при обтисненні, опалубних форм. На сьогодні така нова технологія вже доведена до практичного втілення у виробництво і застосовувалася для виготовлення великорозмірних залізобетонних елементів мостів.

# РОЗДІЛ I

## ПОПЕРЕДНЬО ОБТИСНІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

---

### 1.1. Способи створення попереднього напруження в залізобетонних конструкціях

Перші спроби виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій відносяться до кінця ХУІІІ сторіччя. В 1886 році в Америці (заявка на патент США 875999), а згодом в 1888 році В. Дерінг (заявка на патент ДРП 535.48) в Німеччині запропонували залізобетонні елементи, в яких робоча арматура була попередньо напружена з метою попередження створення тріщин в розтягненій зоні бетону. Думку про створення протидії напруженням від зовнішнього навантаження напруженню в конструкції завдяки попередньому напруженню виклав Г. Мендль у Віденському журналі “Zeitschrift d. Oster. Ing. u. Arch. Ver” за 1896 рік.

З метою попередження утворення тріщин в бетоні І. Г. Лунд з Норвегії в 1905 році запропонував по краям плит перекриття розміщувати попередньо напружені сталеві стержні з нарізкою для анкерування [1; 2]. М. Кенен в 1906 році в Берліні виконав досліди з забетонованою в напруженому стані арматурою. За результатами випробувань встановлено підвищення величини навантаження, яке викликає появу тріщини.

В 1908 році К. Р. Штайнер в патенті США, 903909, запропонував порушувати зчеплення арматури з бетоном у ранньому вінці з тим, щоб після набуття бетоном достатньої міцності натягати стержні з більшим зусиллям. Пропозиція обмотувати бетонні труби напружена» сталевим дротом реалізувалася в 1910 році Циселером в Німеччині [3] та Зігвартом в Швейцарії.

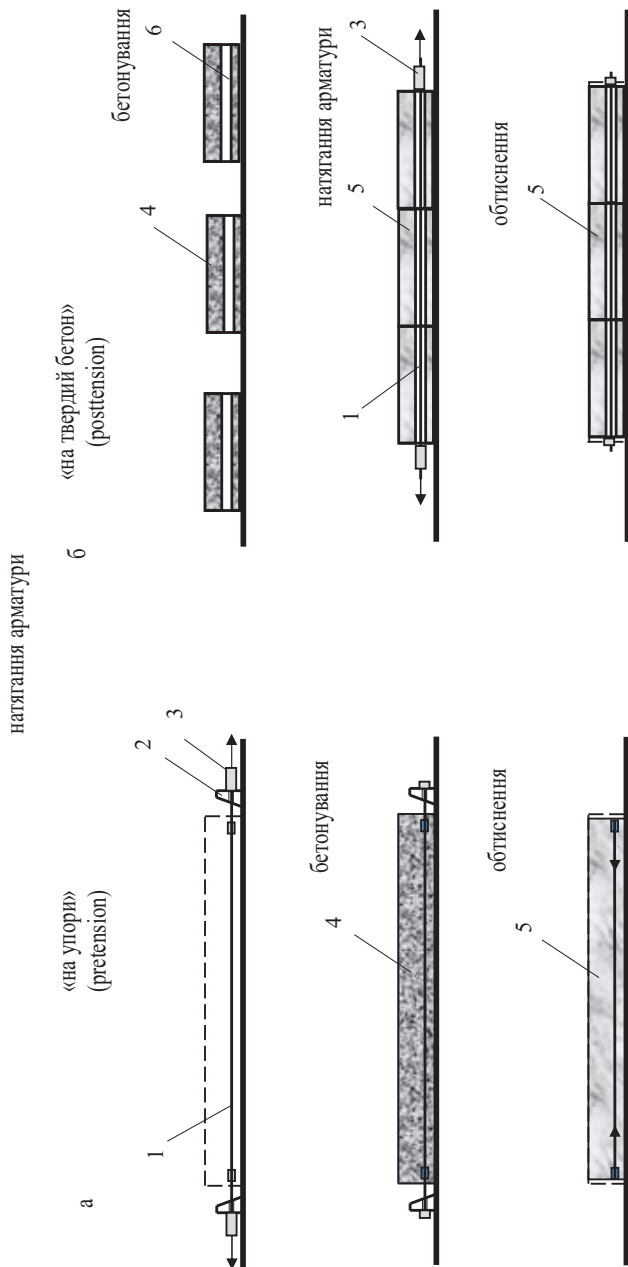
При цьому Зігварт обмотував труби дротом з натягом 62,5 МПа. В тому ж 1910 році К. Бах і О. Граф інформують в праці [4] про використання в дослідях арматури з напруженням 60 МПа. Криволінійне розміщення напруженої арматури з наступним її бетонуванням запатентовано В. Вілсоном в англійському патенті 103681 за 1916 рік.

К. Веттштейн (Богемія) вперше в 1919 році застосував тонкий 0,3–1,2 мм діаметром дріт з високим попереднім напруженням як попередньо напружену арматуру. Вже в 1921 році він вказував на придатність тонкого високоміцного дроту для самоанкерування в бетоні [5]. У Х. Хьюетту зі США вдалося в 1922 році виключити напруження розтягу в круглих залізобетонних резервуарах завдяки натягненню дроту [6].

Пропозиція Р. Х. Ділла (США) виготовляти попередньо напружені залізобетонні балки шляхом натягу високоміцного дроту після затвердіння бетону відносяться до 1923–1925 рокам. Для попередження зчеплення арматури з бетоном пропонувалося застосовувати захисне покриття дроту [7]. Пропозицію Ділла можна вважати прологом до поширеного в наш час методу попереднього напруження арматури на твердий бетон, де зусилля попереднього напруження передаються на міцний бетон одночасно з напруженням арматури (рис. 1.1).

В 1927 році Ріх Фербер отримав патент ДРП 557331, в якому описаний спосіб укладання сталевих арматурних стержнів в бетон, де забезпечувалася відсутність зчеплення і можливість натягу арматури після затвердіння бетону. З метою запобігання зчеплення пропонувалося покрити поверхню арматури шаром парафіну або встановити на неї жерстяні або картонні турки. Останнє, як відомо, знайшло відображення в сучасних каналоутворювачах для арматури.

В переважній більшості проведених в ті роки досліджень ефект попереднього напруження мав місце лише деякий час після виготовлення конструкцій, підвищуючи їх тріщиностійкість. З плином часу попереднє напруження зникало, і конструкції працювали як звичайні залізобетонні. Недостатня величина попереднього напруження в арматурі не дозволяла зберегти помітну її частку після появи ефектів релаксації арматури, усадки та повзучості бетону, інших втрат попереднього напруження.



**Рис. 1.1. Схема утворення попереднього напруження в залізобетонних елементах:**

а) – за методом «на упори»; б) – за методом «на твердий бетон»,  
 1 – арматура; 2 – упор; 3 – домкрат; 4 – бетонна суміш; 5 – бетон, що затвердів; 6 – канал

Практичне застосування в конструкціях попередньо напружений залізобетон знайшов після того, як в 1728 році Е. Фрейсіне достатньо переконливо виклав у французьких патентах 680547 і 36703 необхідність застосування арматури міцністю на розтягання вище 400 МПа. При цьому, така арматура повинна була мати високу межу пружності. Пропозиції Фрейсіне розроблялися переважно до конструкцій з натягом арматури на упори до бетонування (рис. 1.1).

Для виготовлення попередньо напружених залізобетонних труб Е. Фрейсіне запропонував одночасно з ущільненням бетону пресуванням здійснювати натягання навитої поперечної арматури [8; 9]. В 1938–1939 роках в Німеччині було освоєне промислове виробництво таких труб. Тут для натягу навитого арматурного дроту створювали надлишковий внутрішній тиск. При цьому діаметр труби збільшувався на величину, що відповідала подовженню кільцевої арматури. Якісне пресування бетонної суміші забезпечувалося дією на зовнішню поверхню труби радіального тиску. Співвідношення зовнішнього і внутрішнього тисків при виготовленні змінювалося з плином часу на користь останнього. Обтиснення бетону пресуванням рекомендувалося виконувати, коли вже починалося його тужавіння.

В праці [10] за 1939 рік Ф. Емпергер запропонував змішане армування залізобетонних конструкцій з частковим попереднім напруженням. Ідея Ф. Емпергера стала досить актуальною для подальшого розвитку конструювання залізобетонних елементів. Пропозиції розміщення напруженої арматури у відкритих каналах з наступним її натягом на твердий бетон і заповненням каналу бетоном внесені П. Абелесом (Англія) у 1942–1943 роках.

К. Б. Більнер з США запропонував у 1942 році термоелектричний спосіб натягу арматури, особливістю якого було покриття арматурного стержня термопластичним матеріалом, що включав сірку, і натягання його після затвердіння бетону шляхом пропускання електричного струму по стержню. При цьому нагріте покриття арматури розм'якшувалося і ставало мастилом, яке сприяло зниженню втрат попереднього напруження, викликаного тертям арматури.

Для одночасного натягу всієї напруженої арматури на твердий бетон в сорокові роки в Німеччині був розроблений спосіб Бауера – Леонгардта [11], використаний при спорудженні ряду мостів [12; 13].

Після 1945 року за кордоном видано ряд капітальних праць стосовно попередньо напруженого бетону, серед яких праці І. Гійона, Г. Маньєля, Е. Мерша, Ф. Леонгардта, П. Абелелеса, Х. Рюша, Т. Ліна, Л. Пахоліка, Г. Кані та багатьох інших [14–21]. Подібно до більшості закордонних авторів, доктор-інженер Г. Кані в праці [22] розглядав напружений бетон як самостійний матеріал, одержаний шляхом передачі зусилля попереднього напруження арматури на твердий і міцний бетон.

Фундаментальні роботи професора Ф. Леонгардта, видані в перекладі в 1957 і 1983 [23] роках, внесли помітний доробок у розвиток і узагальнення підсумків раніше виконаних досліджень напружено-армованого бетону. Знаменно, що як до 1955 так і до 1980 років, коли ці книги були вперше видані, способи попереднього напруження залізобетонних конструкцій, відомі в світовій практиці, залишалися в межах методів натягу, арматури на упори (силову форму) до затвердіння бетонної суміші й натягання арматури на затверділий бетон (рис. 1.1). Останнє підтверджується даними з книжки А. Коменданта [24], а також підсумковими матеріалами Міжнародної федерації з проблем попередньо напруженого бетону – FIP та теперішньою Міжнародною федерацією бетону – *fib* [25–28]. В книзі польських авторів А. Ajdukiewicz і І. Mames [29], виданій в 1984 році, також вказується на створення попереднього напруження в залізобетонних конструкціях за двома вище згаданими методами. У всіх наведених працях попереднє напруження, незалежно від методу натягання арматури, здійснювалося шляхом передачі зусилля напруження арматури на твердий бетон.

В розробку ефективних попередньо напружених залізобетонних конструкцій вагомий вклад внесли вчені – А. А. Гвоздев, В. В. Міхайлов, С. А. Дмитрієв, О. Я. Берг, Г. І. Бердичевський, В. В. Байков, А. Я. Барашиков, А. П. Васільєв, Л. І. Стороженко, Т. М. Пецольд, А. Л. Шагін, А. І. Козачевський, І. П. Шаповал, в створення нових видів напруженої арматури

й способів її натягання – К. В. Михайлов, Н. Н. Мулін, А. П. Коровкін, Е. Г. Ратц; в дослідження властивостей попередньо обтисненого бетону – С. В. Александровський, І. Н. Ахвердов, Ф. І. Іванов, І. І. Уліцький, А. Б. Голишев, Г. А. Клімов, А. Є. Шейкін, В. М. Москвін та багато інших; в будівництво мостів з попередньо напруженими залізобетонними елементами – Н. М. Колоколов, Є. А. Троїцький, Є. Л. Щербаков, А. В. Захаров, А. І. Друганова, Я. Д. Лівшіц, А. Л. Цейтлін, Г. Б. Фукс [30–46].

В. В. Михайлов вперше розробив спосіб неперервного армування (авторські свідоцтва № 61894, 77326, 88356), що включав навивку арматурного дроту в напруженому етапі н упори стенда або силової форми. Попереднє напруження досягалася завдяки проходження дроту по блокам і пристроям натягувальної машини, обладнаної натяжною станцією і противагою. Передача зусилля попереднього напруження за дим способом здійснюється на бетон конструкції, що затвердів [31].

Проблемі створення сучасних попередньо напружених залізобетонних конструкцій та їх розрахунку присвячені праці А. С. Залесова, Е. Н. Кодиша, Л. Л. Лемиша. І. К. Нікітіна [47], А. Б. Голишева, В. Я. Бачинського, В. П. Поліщука, А. В. Харченко. І. В. Руденко [48], В. Н. Байкова і Е. Є. Сігалова [49], А. Н. Кудзіса [50; 51], А. Я. Барашикова [52], Г. Б. Мурашкіна [53], Є. М. Бабица [54], О. А. Гершберга [55], Л. К. Лукши [56], А. С. Дехтяра [57], Л. А. Мурашко [58], Л. І. Іосілевського [59], А. Е. Лопашто [60–63], Ю. А. Клімова [64], В. А. Сехніашвілі [65], В. М. Бондаренко і Д. Г. Суворкіна [66], Б. В. Стефановіча [67], О. А. Волянського [68] та багатьох інших. В усіх цих працях вказується на можливість попереднього напруження залізобетонних конструкцій за методами «на упори» або «на твердий бетон». При цьому обидва методи передбачають передачу зусилля попереднього напруження на затверділий бетон після придбання ним передатної міцності.

Останнім часом активно розробляються технології, спрямовані на скорочення циклу виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій і підвищення їх міцності. До них відносяться способи виготовлення, що передбачають одночасне пресування і натягання арматури з наступною передачею,