

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Дніпровський національний університет залізничного транспорту**  
**імені академіка В. Лазаряна**

---

Кафедра «Мости та тунелі»

До захисту:

Завідувач кафедри МТ

\_\_\_\_\_ О. Л. Тютюкін

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

на здобуття ОС «магістр»

Галузь знань                      19 «Архітектура та будівництво»

Спеціальність                    192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Спеціалізація (ОПП)          «Мости і транспортні тунелі»

Тема: «Напружено-деформований стан металевих прогонових будов складних просторових конструкцій»

Theme: “Stress-strain state of metal girder structures of complex spatial structures”

Керівник магістерської роботи	<u>К. т. н., доц.</u> (посада)	_____ (підпис)	<u>Марочка В. В.</u> (ПІБ)
Консультант розділу з БЖД	<u>К. т. н., доц.</u> (посада)	_____ (підпис)	<u>Заяць Ю. Л.</u> (ПІБ)
Нормоконтролер	<u>Ст. викладач</u> (посада)	_____ (підпис)	<u>Овчинников П. А.</u> (ПІБ)
Виконавець, студент групи МТ <u>1921</u>		_____ (підпис)	<u>Співак Д. С.</u> (ПІБ)
Student			<u>Spivak Dmytro</u>

2020 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
РОЗДІЛ 1 ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ТРУБОБЕТОНУ .....	4
РОЗДІЛ 2 СВІТОВИЙ ДОСВІД БУДІВНИЦТВА ТРУБОБЕТОННИХ МОСТІВ.....	9
РОЗДІЛ 3 НОРМАТИВНА БАЗА ТА ЛІТЕРАТУРА .....	25
РОЗДІЛ 4 ОПИС ЗАСОБУ ПОРІВНЯННЯ – СПОРУДА №4 .....	28
РОЗДІЛ 5 ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК .....	35
<b>5.1 Побудова схеми мосту. Вибір схеми та визначення основних         геометричних характеристик.....</b>	<b>35</b>
<b>5.2 Визначення навантажень і впливів .....</b>	<b>43</b>
5.2.1 Постійні навантаження і впливи.....	43
5.2.2 Тимчасові навантаження та впливи .....	45
<b>5.3 Розрахунок трубобетонних елементів за Єврокод 4.....</b>	<b>52</b>
5.3.1 Розрахунок та перевірки поясів арки.....	53
5.3.1.1 Визначення зусиль .....	55
5.3.1.2 Перевірки .....	56
5.3.2 Розрахунок та перевірки стійок арки.....	75
5.3.2.1 Визначення зусиль .....	76
5.3.2.2 Перевірки .....	77
5.3.3 Розрахунки та перевірки звичайних трубчастих елементів .....	88
5.3.3.1 Вертикальні в'язі поясів арки .....	88
5.3.3.2 Поздовжні в'язі поясів арки .....	90
5.3.3.3 Поперечні в'язі стійок арки.....	92
5.3.3.4 Поперечні в'язі поясів арки .....	94
РОЗДІЛ 6. МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ .....	97

7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	102
7.1. Вимоги безпеки праці під час бетонування трубобетонних елементів арки .....	102
7.2. Дія працівників в аварійних ситуаціях падіння людини .....	109

					011.150023.MP.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Використання просторових металевих конструкцій для перекриття великих прогонів є очевидним раціональним рішенням у потребі більшій жорсткості та суттєвій економії матеріалів у порівнянні зі звичайними металевими балками із суцільною стінкою. Завдяки сучасним методам зведення мостів можливе використання більш складних просторових конструкцій, які мають більшу перевагу у пристосуванні до складних умов будівництва.

Дослідження реального напружено-деформованого стану таких конструкцій є складним завданням. Повний комплекс робіт повинен включати не тільки виконання теоретичних розрахунків конструкції за просторовими схемами, максимально наближеним до реальних конструкцій, але і проведення експерименту. Особливо актуальними такі дослідження є для складних вузлів у місцях значних концентрацій напружень.

**Мета роботи.** Метою роботи є загальне порівняння напружено-деформованого стану двох мостових споруд під автодорогу. Порівнюється однопрогонова аркова будова з існуючою нерозрізною трипрогоною металевою балкою із суцільною стінкою. Заздалегідь визначена загальна схема аркової будови передбачає використання сталевих трубчастих та трубобетонних елементів.

**Методи дослідження.** Дослідження виконуються теоретично за допомогою програмних забезпечень ЛІРА САПР та ANSYS методом скінчених елементів. Перевірки елементів конструкції якої виконуються аналітично за допомогою імплементованих в Україні Єврокодів (ДСТУ-Н Б EN) та Державних будівельних норм (ДБН).

## РОЗДІЛ 1 ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ТРУБОБЕТОНУ

Сучасне будівництво характеризується збільшенням висоти споруд і прогонів перекриття. Це вимагає застосування стрижнів, що володіють високою несучою здатністю при малих поперечних перерізах. Одним із рішень цієї проблеми є застосування трубобетонних конструкцій.

Трубобетон (або структура CFST (Concrete filled steel tubes)) - це композитний елемент, що складається зі сталеві труби, яка заповнена бетонною сумішшю.

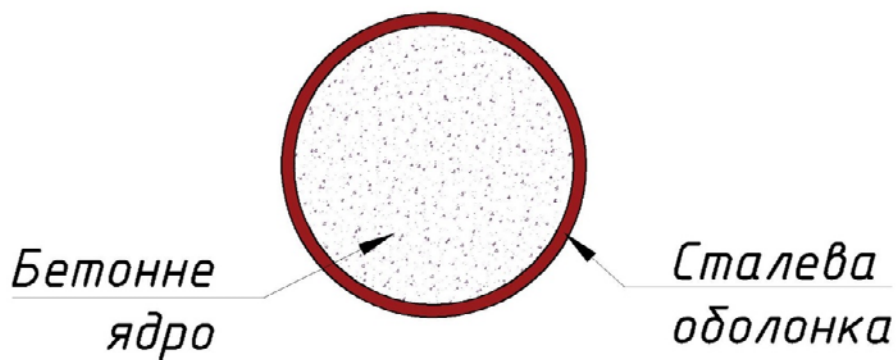


Рисунок 1.1 – Переріз звичайного трубобетонного елемента

### Переваги трубобетону

Зовнішня сталеві труба-оболонка виконує одночасно функцію як поздовжнього, так і поперечного армування, яка здатна сприймати зусилля у всіх напрямках і під будь-яким кутом. Крім того бічний тиск труби перешкоджає розвитку мікротріщин розриву в бетоні, який, будучи ізольованим, прагне збільшити свої розміри в радіальному напрямку. Такий ефект обойми створює ідеальні умови для роботи бетонного ядра під навантаженням, тим самим підвищуючи несучу здатність всього елемента. В результаті чого міцність при стисненні зростає приблизно на 50-80%. Сталеві труба в свою чергу, завдяки сприятливому впливу внутрішнього тиску твердого середовища, виявляється в значній мірі, запобігання від втрати

місцевої та загальної стійкості.

Труبوبетонні конструкції зберігають всі переваги трубчастих металевих конструкцій. За непотрібністю опалубкового обладнання (сталева труба вже є опалубною системою), значно спрощується монтаж, і поліпшуються умови зведення споруд. Заповнення труб бетоном також не викликає складнощів технологічного характеру і здійснюється в основному за допомогою насосів. Таким чином, процес виготовлення труبوبетонних елементів полегшується і стає вигідніше як по трудовитратам, так і за вартістю. Використання труبوبетонних конструкцій дозволяє вести будівництво цілий рік: в зимовий період можна виконувати монтаж трубок-оболонки, їх зварювання з закладними деталями, елементами перекриття, а їх бетонування виконувати навесні.

Зовнішня поверхня труبوبетонних елементів має хорошу обтічність. Завдяки цьому на поверхні не затримується бруд і волога, тому вони більш корозійностійких і довговічні. Заповнення сталевих труб бетоном захищає її внутрішню поверхню від корозії і підвищує опір зминанню при ударних впливах. Конструкції з труبوبетону легше очищувати, фарбувати і доглядати, що також підвищує їх довговічність. Також варто відзначити, що вогнестійкість труبوبетонних елементів значно вище, ніж металевих, і при величині зовнішнього діаметра 400 мм становить близько 2 годин без будь-якого захисту, а при нанесенні захисної оболонки можна забезпечити практично будь-яку необхідну вогнестійкість.

#### Недоліки труبوبетону

Поряд з перевагами можна відзначити і деякі недоліки труبوبетонних конструкцій. Найбільш значним з них є складність забезпечення спільної роботи бетонного ядра і зовнішньої сталевих оболонки при експлуатаційних навантаженнях. Внаслідок різниці в коефіцієнтах поперечної деформації бетону і сталі ( $\nu_b \approx 0,18 \div 0,25$ ,  $\nu_s \approx 0,3$ ) при таких умовах бетонне ядро і сталеві оболонки працюють неефективно.

					011.150023.MP.2020.000	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Дослідження трубобетонного елемента під час випробувань

У процесі поступового збільшення прикладеної стискаючої сили до трубобетонних конструкції стискає сили, ядро і оболонка працюють спільно тільки напочатку. Потім зовнішня оболонка прагне відірватися від поверхні бетону, сприяючи виникненню в ньому радіальних напружень, що розтягують. В результаті ефект бічного обтиснення і відповідно зміцнення бетонної ядра зникає, і стає неможливим повністю використовувати ресурс обтиску сталеві оболонки у зв'язку з наявністю в ній поздовжніх зусиль. Бетон починає працювати окремо від оболонки в умовах одновісного стиску, а труба - тільки як поздовжня арматура. Фактором, який може сприяти цьому процесу, є усадка бетону. Відомо, що усадка бетону, що твердіє в сталевій

					011.150023.MP.2020.000	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оболонці, істотно менше усадки бетону, що твердіє на повітрі. Причому протягом перших років твердіння відбувається набухання бетонного ядра. Подальші усадочні деформації залежать від ряду факторів, таких як склад бетонної суміші, кліматичні параметри зовнішнього середовища і геометричні розміри самих трубобетонних елементів.

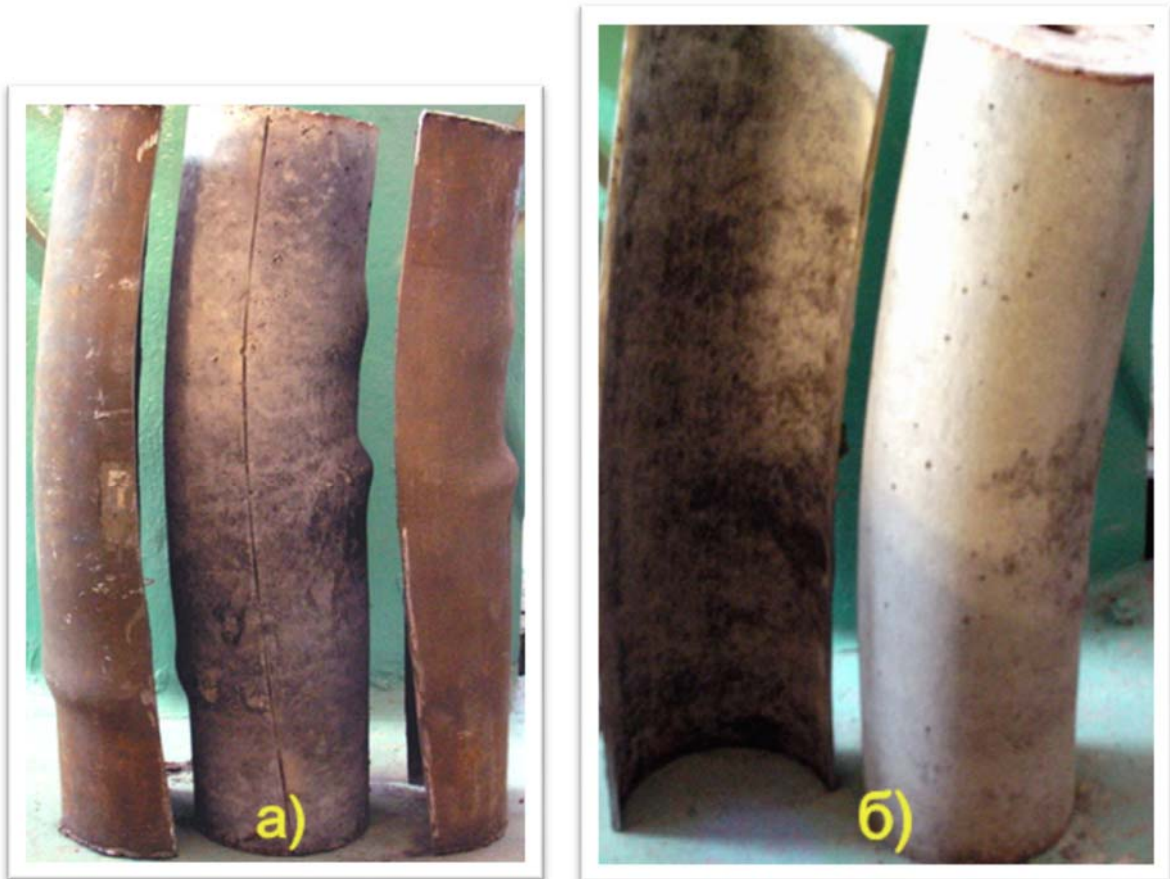


Рисунок 1.3 – Характер руйнування трубобетонних елементів при: а) осьовому стиску; б) позацентровому стиску

Таким чином, класичний трубобетонних є недостатньо технічно досконалу конструкцію. Теоретичні дослідження, виконані в цьому напрямку, підтверджують висновок про те, що сталеві труби починає працювати як зовнішня обійма тільки при досягненні навантажень, близьких до руйнуючих, коли в бетоні починається процес виникнення мікротріщин. Ефект обійми позитивно позначається тільки на подальшу роботу стислих трубобетонних елементів, блокуючи подальше зростання вже утворених тріщин в бетонному ядрі і віддаляє момент його руйнування.

					011.150023.MP.2020.000	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У даний час немає загальновизнаних інженерних методик розрахунку несучої здатності трубобетонних конструкцій з урахуванням ефекту обойми, недостатньо експериментальних даних про роботу високоміцних бетонів в умовах пасивного бокового обтиску.

При описі граничного стану трубобетонних елементів виходять з того, що при малих навантаженнях сталеві труба деформується пружно, а в бетонному ядрі починають проявлятися пластичні деформації. У міру того, як навантаження зростає, в бетоні утворюються мікротріщини, збільшується тиск між бетоном і бетоном. При подальшому збільшенні навантаження поздовжні напруження в трубі досягають межі плинності, в бетонному ядрі триває утворення тріщин в площинах, паралельних площині діючого зусилля. Незважаючи на значні деформації, стиснутий трубобетонний елемент здатний і далі сприймати зростаюче навантаження.

Крім того, трубобетон допустимо застосовувати в нормальних умовах середовища з відносною вологістю до 70% і слабоагресивних повітряних середовищах. У важких і агресивних умовах, а також при вологості більше 75% необхідне використання спеціальних засобів захисту сталеві оболонки від корозії

Незважаючи на те, що робота трубобетонних конструкцій при стисненні вивчена досить повно, робота при згині залишається не дослідженою. Відсутність рекомендацій з розрахунку і проектування згинальних трубобетонних елементів також в значній мірі перешкоджає їх широкому впровадженню в будівництво.

					011.150023.MP.2020.000	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2 СВІТОВИЙ ДОСВІД БУДІВНИЦТВА ТРУБОБЕТОННИХ МОСТІВ

В сучасних умовах будівництва залізобетонних мостів, коли вдосконалили технологію високоміцного бетону з добавкою суперпластифікатора і технологію насосного бетонування, а також відпрацювали і широко застосовують такі ефективні способи монтажу прогонових будов мостів, як навісна збірка і навісне бетонування, створилися сприятливі умови для поєднання з ними технології труобетону. Труобетон став широко і успішно використовуватися в мостобудуванні у США, Японії і особливо у КНР не тільки як засіб підвищення несучої здатності конструкцій, але і як ефективний спосіб зведення. За останні 10 років у КНР були побудовані і будуються більше 120 мостів з труобетонних, переважно арочних, методом повороту і навісної збірки. Далі наведено існуючі мости та їх короткий опис.

### Ванчанг Донхе / Wangcang Donghe (КНР)

У 1990 році в м. Ванчанг в провінції Сичуань вперше був побудований труобетонних арочний міст через р. Донхе прогоном 115 м способом навісної збірки аркової сталевий трубною оболонки з подальшим заповненням її бетоном без риштувань (рис. 2.1).





Рисунок 2.2 – Арковий міст Ваньсянь

Бергсойсунн / Bergsøysund (Норвегія)

Відкритий у 1992 році ферменний криволінійний трубобетонний плавучий міст їздою поверху (рис. 2.3-2.5) має такі відомі характеристики:

- довжина мосту – 931 м;
- найбільший прогін – 106 м;
- проїзна частина – ортотропна плита;
- верхній пояс – труба діаметром  $d = 0,61$  м з товщиною стінки  $t = 55$  мм;
- нижній пояс – труба діаметром  $d = 1,1$  м з товщиною стінки  $t = 55$  мм.

					011.150023.MP.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



Рисунок 2.3 – Міст Бергсойсунн

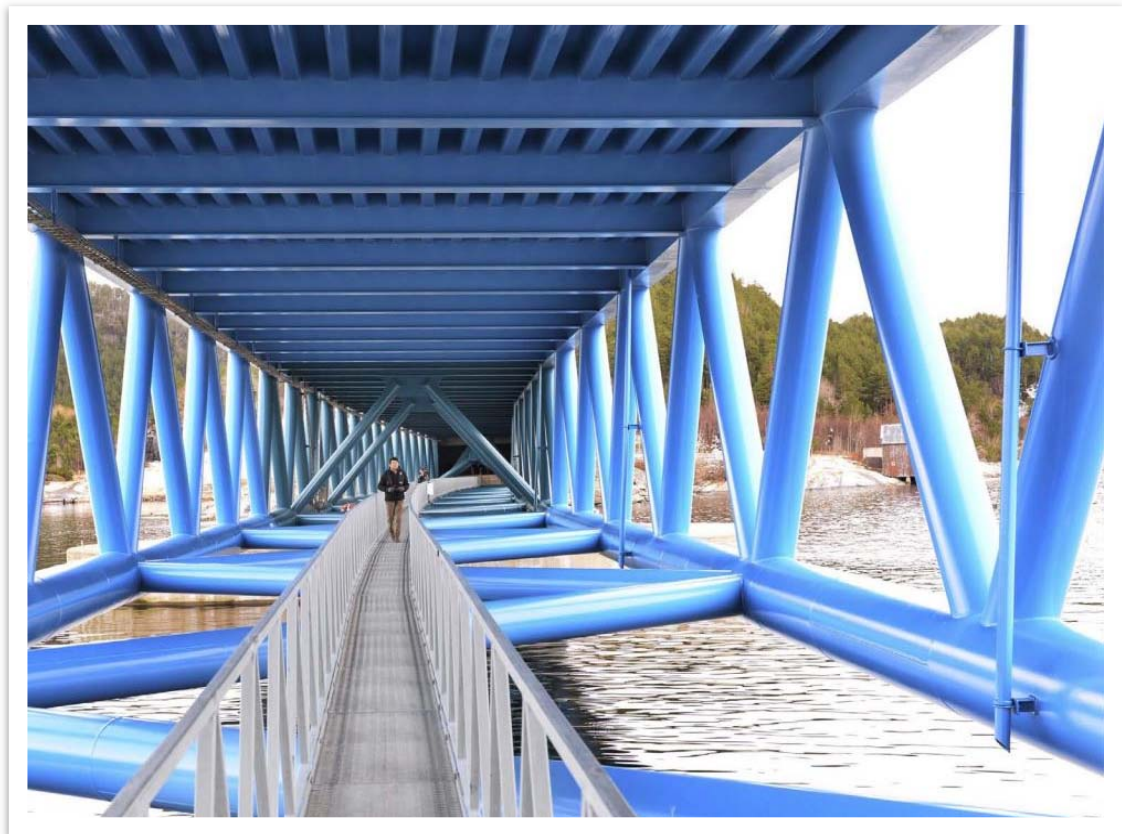


Рисунок 2.4 – Під проїзною частиною мосту Бергсойсунн

					011.150023.MP.2020.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12