

Науково-технічний супровід впровадження в виробництво великорозмірних залізобетонних труб-оболонок

Кривельов Л.І., Карпенко О.А., Ремінець Г.М.
Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м.Київ

Чернишов С.М., Кушевський С.А.
Концерн «Київпідземшляхбуд», м.Київ

Наведені результати першого етапу науково-технічного супроводу впровадження в будівництво збірних залізобетонних конструкцій труб. Об'єкт дослідження - збірні залізобетонні елементи безнапірних труб $D=2400/2640$ мм і $L=2000$ мм для внутрішньої футерівки тунелів, що прокладаються щитовим методом. Виконані розрахунки труби при впливі гідростатичного тиску цементно-пісчаного розчину в монтажному положенні та при впливі навантаг, що діють при траншейному прокладанні колектора. Труба з одинарним армуванням досліджена експериментально для встановлення фактичної тримальної здатності її перерізів в місцях дії максимальних додатних і від'ємних моментів.

Однією з найвагоміших проблем реконструкції забудови великих міст є високий ступінь зношення зовнішніх інженерних мереж. При вирішенні нагальних містобудівних завдань виникає проблема будівництва нових сучасних підземних колекторів. Будівництво останніх здійснюється з застосуванням

залізобетонних конструкцій, зокрема з застосуванням залізобетонних труб.

В Україні впроваджується технологія будівництва колекторів методами щитового проходження тунелів з наступним футеруванням збірними залізобетонними трубами-оболонками великого діаметра.

Мета роботи в цілому - поставлення продукції на виробництво. Методи дослідження – аналітичні і експериментальні.

Мета статті – оприлюднення результатів першого етапу науково-технічного супроводу впровадження в будівництво збірних залізобетонних конструкцій безнапірних труб $D=2400/2640$ мм і $L=2000$ мм для внутрішньої футерівки тунелівсамопливних каналізаційних колекторів, що прокладаються щитовим методом.

Конструкція таких тонкостінних залізобетонних труб розроблена на засаді її реалізації на технологічному обладнанні «Pedershaab» для виготовлення збірних елементів завдовжки $L=2000$ мм - залізобетонних труб з внутрішнім і зовнішнім діаметрами $D=2400/2640$ мм та відповідно стінкою завтовшки $\delta=120$ мм.

Труба бетонується в вертикальній формі, що має зовнішню та внутрішню стінки. В проміжок між стінками вставляється і фіксується один арматурний кільцевий каркас-сітка, а на внутрішній стінці форми кріпиться поліетиленова вставка – футляр, яка з'єднується з бетоном труби. Матеріалом труби є бетон класу В40.

Особливістю конструкції труби є її армування в'язаною сіткою, в якій арматура в робочому положенні розташовується в кільцевому і спіральному напрямках. Кільцева арматура має діаметри - $\varnothing 14$ А400С, спіральна арматура відповідно - $\varnothing 8$ А240С [1].

Циліндричний каркас труби виготовляється на кондукторі. Спочатку згинаються в кільце діаметром $D_{\text{вн}} = 2519$ мм і зварюються за допомогою накладок стрижні кільцевої арматури $\varnothing 14$ мм. Потім по спіральних напрямках на кільцеву арматуру з зовнішнього боку прив'язується спіральна арматура $\varnothing 8$ мм. Зовнішній габаритний діаметр кільцевого каркасу при цьому становить $D_{\text{зов}} = 2579$ мм [2].

Для стикування труб в колекторі між собою з одного боку труб передбачена обичайка зі сталевого листа завтовшки 10 мм. З протилежного боку відповідно зменшена товщина стінки труби. Під час монтажу в стику між обичайкою і зовнішнім боком труб укладається ущільнювач. Труба має декілька отворів, через які між трубою і тримальною оболонкою тунелю нагнітається цементно-піщаний розчин. Нижче, на рисунках 1 і 2 показана конструкція труби і її армування.

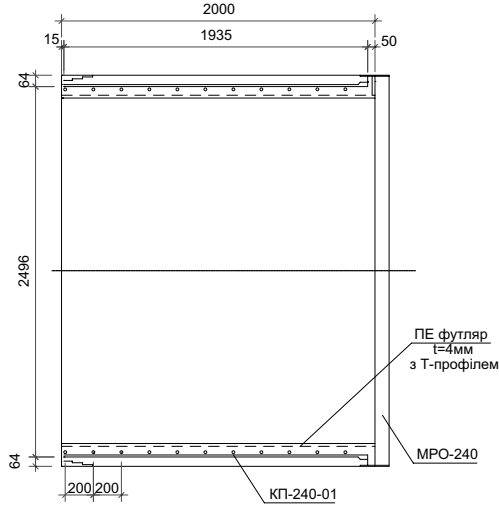


Рисунок 1. Конструкція труби $D=2400/2640$

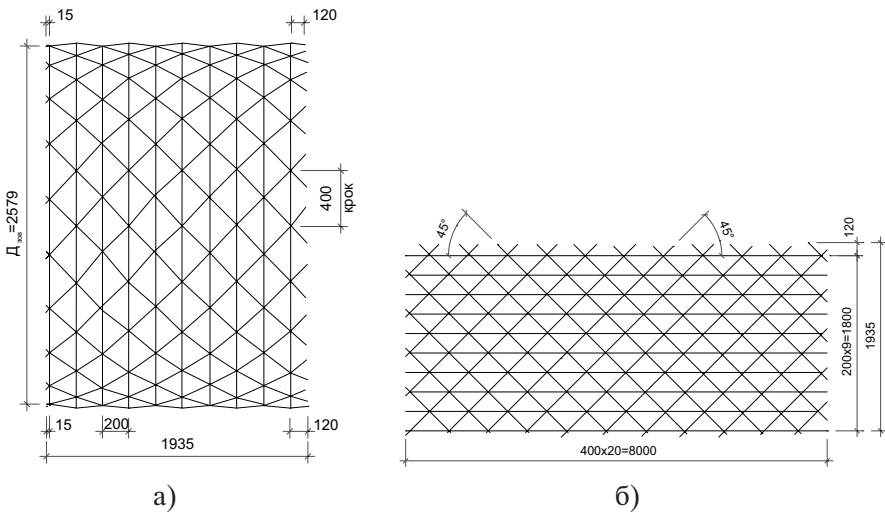


Рисунок 2. Арматурний каркас труби:
 а - загальний вигляд в згорнутому стані;
 б - розгортка арматурного каркасу КП-240-01

Влаштування футерівки тунелів передбачає встановлення її за допомогою монтажно-транспортного обладнання всередині тримальної оболонки тунелю, який проходить у щитовий спосіб, попереднього розкріплення футерівки в проектному положенні і ін'єктуванні поміж двома поверхнями – футерівки і тримальної оболонки - цементного розчину.

З метою встановлення можливості застосування труби-оболонки безпосередньо в якості тунелів колекторів при траншейному прокладанні зі зворотною засипкою виконувались розрахунки труби, розташованої безпосередньо в ґрунті з урахуванням впливу навантаг від важкого рухомого транспорту. Також були виконані розрахунки і для основного виду застосування труб – в тримальному зовнішньому тунелі - на монтажний вплив гідростатичного тиску розчину.

В дослідженнях системи «залізобетонна труба - ґрунт» , в якій останній представлений у вигляді об'ємно-деформованого тіла, створена можливість моделювати роботу системи на всіх етапах навантаження з урахуванням зміни напружено-деформованого стану в її елементах в залежності від типу ґрунтових умов [3].

В прийнятій розрахунковій схемі верх труби заглиблений на 2 м від рівня поверхні землі. Фізико-механічні характеристики ґрунтів (ІґЕ-1...ІґЕ-3), що були прийняті в розрахунок, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики ґрунтів

№ ІґЕ	Назва ІґЕ	Товщина шару H , см	Питома вага γ , т/м ³	Питоме зчеплення C , т/м ²	Модуль деформації E , т/м ²	Коефіцієнт Пуассона ν	Гранична напруга при розтягу R_p , т/м ²	Кут внутрішнього тертя, град
ІґЕ-1	Насипний ґрунт	150	1,8	0,1	800	0,30	0,01	30
ІґЕ-2	Пісок жовтий	350	1,7	0,1	3000	0,30	0,01	30
ІґЕ-3	Суглинок	950	1,7	0,8	2000	0,33	0,08	29

Вважається, що ґрунти, які залягають під низом труби (окрім лесових ґрунтів у водонасиченому стані) не будуть перевищувати допустимого значення осідання $s=8$ см для даного типу конструкцій [4].

Навантага, яка діє на трубу складається із постійної навантаги у вигляді власної ваги зворотної засипки ґрунту з пошаровим його ущільненням та тимчасової - сили від автотранспорту. Згідно з ДБН [5] розглядалися дві схеми тимчасових навантаг від автотранспорту АК – рівномірно розподілена смугова навантага від автотранспортних засобів і НК-80 - колісна чотиривісна зосереджена навантага. Комп'ютерна розрахункова модель системи «ґрунт-труба» наведена на рисунку 3.

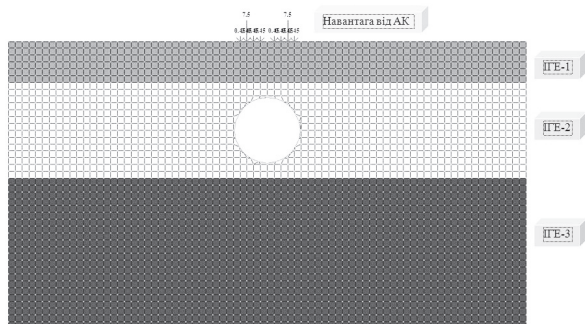


Рисунок 3. Загальний вигляд комп'ютерної моделі

Нижче, на рисунках 4 - 6, сформованих ПК, наведені результати розрахунку при впливі навантаг АК.

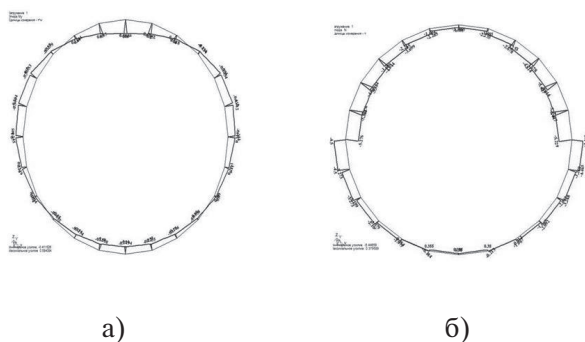


Рисунок 4. Внутрішні зусилля в трубі при впливі навантаги АК:
а - згинальні моменти в залізобетонній трубі M_u , тс-м;
б - нормальні сили в залізобетонній трубі N , тс

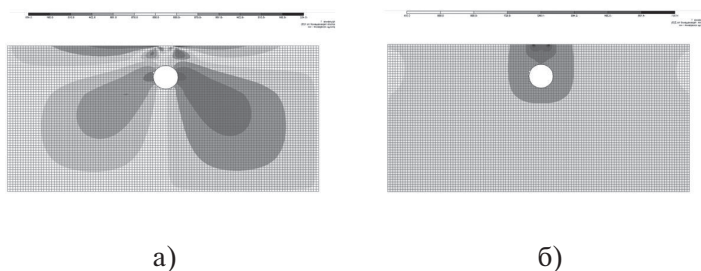


Рисунок 5. Переміщення ґрунту при впливі навантаги АК:
а - ізополя переміщень ґрунту в напрямку U_x , мм;
б - ізополя переміщень ґрунту в напрямку U_z , мм

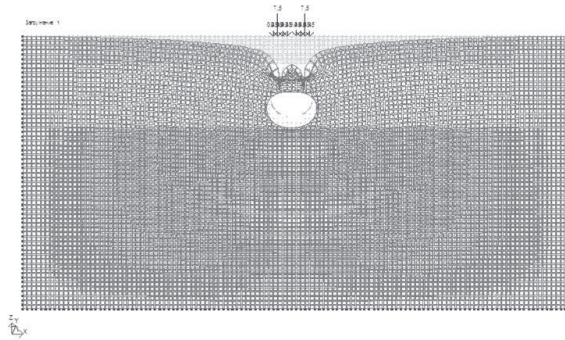


Рисунок 6 Деформована схема системи «ґрунт-труба»

При впливі навантаги НК-80 якісна картина напружено-деформованого стану не відрізняється від показаної вище для навантаги АК.

В таблиці 2 приводиться порівняння внутрішніх зусиль в трубі, що виникають при впливі двох розрахункових тимчасових навантаж. Тут за загальним принципом вважається, що додатні моменти викликають розтягування на внутрішньому боці елемента, від'ємні – на зовнішньому. Для орієнтації розташування розрахункових перерізів застосована звична географічна система азимутів.

Таблиця 2. Порівняння внутрішніх зусиль в трубі, що виникають при впливі тимчасових навантаж АК і НК-80

Вид тимчасової навантаги	Азимут 0° («північ»)		Азимут 90° («схід»)		Азимут 180° («південь»)		Азимут 270° («захід»)	
	M,	N,	M,	N,	M,	N,	M,	N,
	т·м	т	т·м	т	т·м	т	т·м	т
АК	0,584	-1,095	-0,412	-5,229	0,294	-0,380	-0,394	-5,384
НК-80	0,536	-1,618	-0,414	-3,664	0,351	-0,728	-0,412	-3,689

Визначальними величинами зусиль є найбільший додатний момент при впливі навантаги АК. Значення від'ємного моменту по азимутах 90° та 270° на 30% менше. Водночас в перерізах по азимутах 90° та 270° діють максимальні нормальні сили. Тобто по цих перерізах спостерігається позацентрове стиснення з відносно невеликим ексцентриситетом (~8 см).

Основним призначенням труби є футерування тунелів. При цьому на її зовнішню поверхню діють сили радіального напрямку гідростатичного тиску цементно-піщаного розчину, що нагнітається в процесі монтажу. Водночас до труби прикладена навантага від власної ваги. На рисунку 7 показана схема навантаг від гідростатичного тиску розчину.

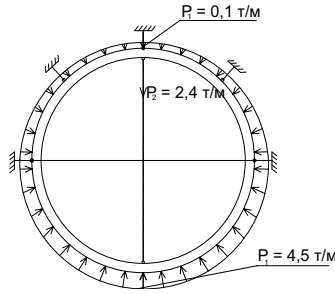


Рисунок 7. Розрахункова схема з навантагами від гідростатичного тиску розчину

При виконанні розрахунку були розглянуті два варіанти: без розпірки та з монтажною жорсткою розпіркою (вертикальна стійка в перерізі труби-оболонки). На рисунках 8 і 9 наведені епюри моментів та нормальних сил в трубі при цих двох видах монтажного закріплення труби.

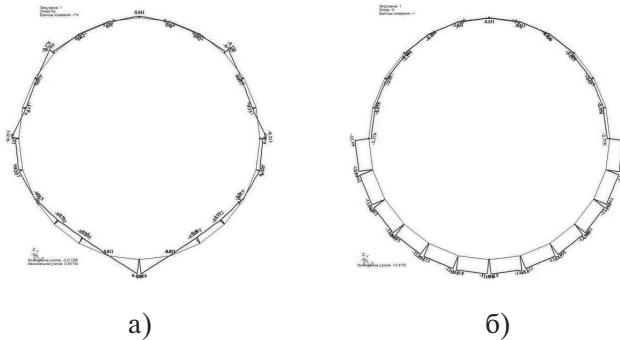


Рисунок 8. Внутрішні зусилля за умови монтажу без розпірки:
 а - згинальні моменти в залізобетонній трубі M , тс·м;
 б - нормальні сили в залізобетонній трубі N , тс

Найбільше додатне значення моменту і відповідної нормальної сили спостерігається в нижній частині труби, а саме $M = 0,458$ тс·м, $N = -13,418$ тс.

Нижче наводяться результати розрахунків другого варіанту - «труба з розпіркою» (рисунок 9).

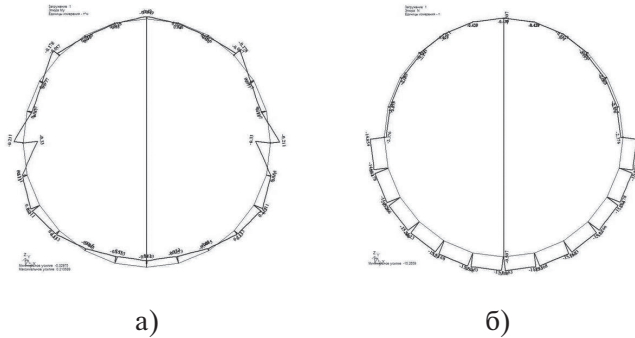


Рисунок 9. Внутрішні зусилля за умови монтажу з розпіркою:
 а - згинальні моменти в залізобетонній трубі M , тс-м;
 б - нормальні сили в залізобетонній трубі, N , тс

Найбільше додатне значення моменту і відповідної нормальної сили спостерігається в нижній частині труби (азимут 180°) на з'єднанні елементів, а саме $M = 0,113$ тс-м, $N = -15,230$ тс.

За розрахунками встановлено, що розпірка не змінює найбільших значень внутрішніх зусиль.

Отримані результати свідчать про те, що при створенні футерівки труба працює на позacentрове стиснення з малим ексцентриситетом.

Було прийнято рішення в процесі експериментального дослідження не створювати навантаження, яке би моделювало роботу труби або в ґрунті, або в якості футерівки. Метою випробувань було визначення тримальної здатності труби оболонки, армованої одним циліндричним каркасом.

Труба була навантажена рівномірно розподіленою навантагою, яка прикладалася вздовж утворюючої у площині вертикального діаметрального перерізу горизонтально укладеної труби. На відміну від стандартних випробувань залізобетонних труб навантага прикладалася не жорсткою траверсою, а безпосередньо домкратами, які були гідравлічно об'єднані і прикладали до труби однакові сили незалежно від жорсткостей труби і траверси. Такий підхід до створення навантаги визначався тим, що труба за своїми розмірами є тонкостінною циліндричною оболонкою і має суттєву деформативність. Навантажування здійснювалось чотирма домкратами з максимальною вантажопідйомністю 10 тс. Домкрати були розставлені рівномірно вздовж труби по середині чвертей повздовжнього розміру труби.

В процесі випробувань визначалися переміщення труби в трьох її перерізах: в центрі, на бетонному краю і на краю підсиленому металевою обичайкою (рисунок 10). При цьому визначалися видовження – скорочення горизонтального та вертикального діаметрів перерізів.

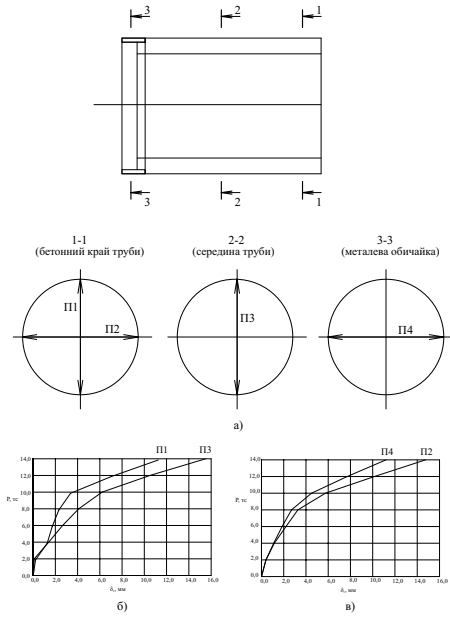


Рисунок 10. Схема випробування переміщенням труби в трьох її перерізах:
а - повздовжній переріз труби, розміщення приладів;
б - графік деформації вертикального діаметра труби;
в - графік деформації горизонтального діаметра труби

Перед проведенням основних експериментальних випробувань було проведено обтиснення системи навантаження, перевірена коректність закріплення приладів, перевірені заходи щодо безпеки випробувань. Було прикладено два ступеня навантаги, кожний з яких дорівнював 1,0 тс на кожному з чотирьох домкратів. Вже на першому ступені при загальній навантазі на трубу 4,0 тс на зовнішній і внутрішній поверхнях труби вздовж утворюючих в місцях дії максимальних додатних і від’ємних моментів виникли тріщини з розкриттям $\sim 0,1$ мм. На другому ступені (загальна навантага на трубу 8,0 тс) тріщини отримали подальше розвинення. Після цього навантага була знята. Було проведено два цикли обтиснення.

Після проведення обтиснення було виконано корегування розстановки приладів і остаточна підготовка до випробувань. В зв’язку з ранньою появою тріщин в процесі обтиснення системи було прийнято рішення навантаження вести ступенями по 0,5 тс на один домкрат – 2,0 тс на всю трубу.

Процес проведення випробувань показаний на фотографії рисунку 11.



Рисунок 11. Загальний вид процесу випробування

Зростання навантаги супроводжувалось подальшим розкриттям тріщин і збільшенням зростання прогинів труби (рисунок 10,б та 10,в).

Максимальна навантага на трубу склала 14,0 тс, після чого під час підкачки домкратів відбувалося збільшення переміщень та розкриття тріщин труби без збільшення тиску в останніх.

Максимальні переміщення, що відповідали навантазі 14,0 тс становили:

- зменшення вертикального діаметрів в залізобетонних перерізах - 15,47 та 15,02 мм;
- збільшення горизонтального діаметра в залізобетонному перерізі - 14,76 мм;
- збільшення горизонтального діаметра, підсиленого металевою обичайкою, - 11,21 мм.

На останньому ступеню навантаження розкриття тріщин по напрямках утворюючих на внутрішній і зовнішній поверхнях труби в зонах дії максимальних додатних і від'ємних моментів становила 1,0–1,5 мм. На фотографії рисунку 12 показані бічні поверхні труби з тріщинами в бетоні розтягнутої зони з зовнішнього боку труби.



Рисунок 12. Тріщини на бічній поверхні труби (азимут 90°)

Чисельні дослідження напружено-деформованого стану труби встановили наступне.

При траншейній прокладці колектора без зовнішньої тримальної оболонки тунелю при стандартизованих ґрунтових умовах і глибині закладення колектора найбільші зусилля викликає прикладення тимчасової двокісної рухомої навантаги АК. При цьому розрахунковими значеннями на 1 м довжини труби будуть максимальний додатний момент і відповідна нормальна сила $M=0,584$ тс·м та $N=-1,095$ т та максимальна нормальна сила і відповідний від'ємний момент $N=-5,384$ т та $M=-0,394$ тс·м.

При стандартизованих випробуваннях труби встановлено, що гранична величина вертикальної стискаючої сили на всю довжину труби становить 14 тс, що відповідає навантазі на 1 п.м. труби 7,0 тс.

Розрахункова величина граничної сили стиску на трубу завдовжки 2,0 м за схемою стандартизованих випробувань дорівнює 10,9 тс. При цьому розрахунковий тримальний момент перерізу становить 4,33 тс·м, що більше ніж моменти, які виникають в трубі під час тунельного і траншейного прокладання колекторів.

Висновки та перспективи подальших розвідок

1. Результати розрахунків труби при впливі гідростатичного тиску цементно-піщаного розчину в монтажному положенні труби в якості футерівки та на навантаги, що діють при траншейному прокладанні колектора без первинного щитового проходження і влаштування тримальної оболонки, свідчать про те, що при створенні футерівки труба працює на позacentрове стиснення з малим ексцентриситетом, який дорівнює $e=(0,113;15,230)\times 102=0,74$ см.

2. Експериментальними дослідженнями конструкції труби встановлено, що армування одним каркасом з кільцевою та спіральною арматурою, який встановлений на відстані 60 мм від внутрішнього боку труби забезпечує рівномірне сприймання додатних та від'ємних згинальних моментів.

3. На засаді проведених досліджень розроблений альбом креслень труб $D=2400/2640$ [1].

4. Завдання, які планується реалізувати на другому етапі наукового супроводу головним чином стосуються встановлення можливості застосування труб для траншейного прокладання колекторів в різних ґрунтових умовах.

Перелік посилань

1. **Альбом КК.ТС-240.20-4 ч.1** Робочі креслення тонкостінних залізобетонних труб $D=2400$ для футерівки каналізаційних колекторів / ТОВ «Інжкомпроект». - К., 2009. – 16 с.
2. **ГОСТ 14098-91** Соединение сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры. - Взамен ГОСТ 14098-85. - Введен с 01.07.92. - М.: Изд-во стандартов, 1992. - 38 с.
3. **Клейн Г.К.** Расчет труб, уложенных в земле/ Гос. науч.-техн. изд-во строит. индустрии и судостроения. – М.: Госстройиздат, 1957. - 186 с.
4. **ГОСТ 6482-88** Трубы железобетонные безнапорные, Технические условия. - Введены с 1990-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1989.-77 с.
5. **ДБН В.2.3-14:2006** Мости та труби. - На заміну СНиП 2.05.03-85. - Чинні від 1.02.2007

Отримано 01.07.09