

СТАБІЛІЗАЦІЯ СТІЙКОСТІ СХИЛУ ЗСУВНОЇ ЗОНИ

Кафієв К.П., Кривельов Л.І., Домбровський Я.І.,
Зінченко М.Г., Коваль С.О.

ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: На прикладі реального будівництва житлового масиву та його дорожньої системи на схилах яру демонструється важливість науково-технічного супроводу при проектуванні і будівництві на територіях зі складними інженерно-геологічними умовами. .

АННОТАЦИЯ: На примере реального строительства жилищного массива и его дорожной системы на склонах яра демонстрируется важность научно-технического сопровождения при проектировании и строительстве на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями.

ABSTRACT: On example of real construction of residential massif and its road system on slope of ravine there is demonstrated the importance of scientific support when designing and construction in the territories with complex engineer-geological conditions.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: шпунтова підпірна стінка, зсув ґрунту, недотримання проекту, візуальне обстеження, розрахунок стійкості схилу.

ВСТУП

Ущільнення забудови сучасних мегаполісів примушує здійснювати будівництво на територіях зі складними рельєфом та геологічними умовами. Інженерний благоустрій таких ділянок вимагає створення низки складних споруд, серед яких чільне місце займають насипи, підпорні стінки, дренажні системи. Забезпечення стійкості схилів в зсувних зонах при цьому є актуальною проблемою.

Мета роботи – на прикладі реального будівництва житлового

масиву та його дорожньої системи на схилах яру продемонструвати важливість науково-технічного супроводу проектування і будівництва на територіях зі складними інженерно-геологічними умовами.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження - шпунтова підпірна стінка, яка відокремлює в'їзну дорогу та житловий масив від схилу яру. Майданчик масиву і яр характеризуються суттєвим ухилом рельєфу, що створює небезпечність зсуву.

1. Аналіз виконання проектних рішень. За проектом підпірна стінка мала бути збудована у вигляді шпунта без анкерування верхівки, утвореного густо розташованим рядом залізобетонних паль $\varnothing 820$ мм. Палі завдовжки від 10 м до 19 м в верхівках об'єднані масивним залізобетонним ростверком, який утворював власне стінку (рис. 1).

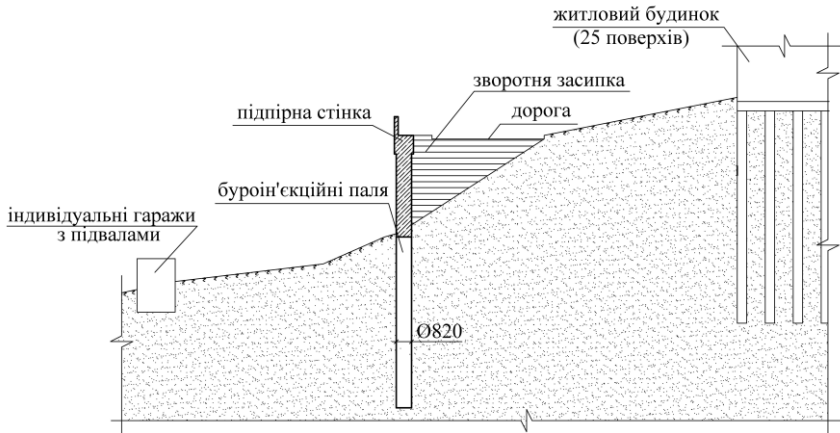


Рис. 1. Поперечний переріз підпірної стіни

Необхідність проведення комплексу досліджень була викликана проявом суттєвих ознак зсувів підпірної стінки, дороги та ґрунту в процесі експлуатації частини житлового масиву і закінчення будівництва. Ознайомлення з проектною документацією та порядком виконання робіт було встановлено, що запроєктований пристінковий дренаж був виконаний лише на частині стінки. Порушення водовідведення «верховодки» з верхнього рівня стінки мало в подальшому негативні наслідки.

В проектне рішення власне підпірної стінки також були внесені зміни. Замість буронабивних паль були зроблені буропікційні. Верхня частина циліндричних елементів шпунта і закидка були замінені суцільною монолітною залізобетонною стінкою завтовшки, що дорівнює діаметру паль. Стінка

була через випуски арматури монолітно з'єднана з пальями. Такий захід не повинен був зменшувати тримальні властивості конструкції стінки за умови належної підготовки робочих швів бетонування на контактах голівок паль і бетону стінки.

Відступи від проектних рішень призвели до зволоження ґрунтів, ненадійного з'єднання паль зі стіною і, як наслідок, до зсувів ґрунту і збільшення відхилень від вертикалі власне стінки.

2. Візуальне обстеження технічного сану підпірної стіни. В процесі обстеження підпірної стіни були зафіксовані 11 зон наявності тріщин і розходження деформаційних швів. Тріщини мають вертикальне і нахилене спрямування і розташовані вздовж всієї підпірної стіни. Виявлені зони оголеної робочої арматури з боку нижнього боку стінки, встановлені ознаки розвитку зсуву ґрунту з нижнього та верхнього боків.

В місцях розкриття паль були виявленні тріщини в оголовках паль шириною розкриття 0,4 мм. Між оголовками паль та бетоном стінки в швах бетонування був виявлений прошарок глини. Слід зазначити, що майже всі шурфи, які були відриті для дослідження з'єднання паль з власне стіною, були наповнені водою (останнє обстеження проводилось в період відсутності опадів).

Залізобетонна стінка має ділянки неякісного виконання монолітних робіт, відсутній захисний шар бетону, є в цих місцях корозія оголеної арматури. Покриття дороги біля підпірної стінки має багато тріщин та впадін, що свідчить про розвиток зсувних процесів в основі дороги..

Встановлене помітне візуально відхилення підпірної стіни від вертикалі в бік нижнього рівня на 333 мм.



Рис. 2. Дефекти бетонування підпірної стінки

При відбиранні кернів для механічних випробувань бетону стінки в рівні передбачуваного стика паль зі стіною при глибині забурення 400 мм не виявлені палі або їх арматурні випуски.

3. Інженерно-геодезичні спостереження. 15 березня 2016 року на підпірній стіні та будинках вздовж неї був розпочатий моніторинг можливих переміщень. Мета моніторингу полягала у визначенні в перебігу часу переміщень верху конструкцій підпірної стіни та будинків інструментальними інженерно – геодезичними методами.

Визначення відхилень від вертикалі підпірної стіни. Відхилення площини підпірної стіни від вертикалі можуть бути наслідками як деформацій підпірної стіни так і похибок ведення будівельно-монтажних робіт, дефекти лінійних та кутових розмірів будівельних конструкцій, тощо. Для визначення відхилень від вертикалі підпірної стіни використано електронний тахеометр виробництва фірми «South». Визначення відхилень від вертикалі виконувалися методом координування точок низу та верху підпірної стіни. Максимальне відхилення завбільшки 333 мм зафіксовано на ділянці стіни заввишки 6,19 м.

За період інструментальних спостережень з 15 березня по 09 липня 2016 року (106 днів) виконано 4 цикли визначення вертикальних переміщень осадових марок, встановлених на новобудовах та на підпірній стінці, яка влаштована поруч.

Станом на 09 червня 2016 року по будівлях, за якими проводяться спостереження, зафіксовано такі деформації:

- по підпірній стіні, яка влаштована в межах зафіксовано відхилення від вертикалі до 333 мм (верх відносно низу стіни). Величина відхилення має пряму залежність від висоти стіни в місці вимірювання. Спостерігається загальний напрямок відхилення в бік пониження позначок рельєфу;
- за період спостережень зафіксовано зміщення верху підпірної стіни величиною від 1 до 19 мм. В районі найбільших зміщень нижче по схилу зафіксовані на поверхні ґрунту тріщини заколу;
- за період спостережень зафіксовані незначні вертикальні переміщення стінки, які не перевищували похибку вимірювань (± 1 мм).

На будівлях житлового масиву, розташованого в безпосередній близькості до підпірної стінки не зафіксовані прирости осідань, які б перевищували похибку вимірювань (± 1 мм).

В серпні 2016 р. спостерігалось на одній з ділянок стінки суттєве збільшення приросту переміщень. Якщо в попередніх вимірах прирощення становило 2-3 мм, то в серпні у порівнянні з червневими вимірами прирощення склало 10-14 мм на ділянці стінки завдовжки ~100 м.

4. Визначення фізико-механічних характеристик бетону. Визначення міцності бетону на стиск проводилося неруйнівним методом пружного

відскоку на залізобетонних конструкціях в 10-ти місцях. Використовувався класичний молоток для випробувань бетону (Concrete test hammer) типу N.

Середня міцність бетону на стиск за методом пружного відскоку визначалася за тарувальною залежністю для зразків-циліндрів з врахуванням результатів паралельних руйнівних випробувань циліндричних кернів, висвердлених з тіла стінки. Випробування встановили, що бетон в конструкціях за міцністю на стиск відноситься до класу C32/40.

5. Обстеження бурин'єкційних паль під існуючою підпірною стінкою.

З метою визначення якості виконання пальової основи підпірної стінки був здійснений контроль якості бетонних паль в землі ультразвуковим луно-методом. Метод базується на вимірюванні часу проходження пружних поздовжніх хвиль, які генеруються звуковим приладом.

Під час обстеження була використана наступна контрольно-вимірювальна апаратура. Для визначення міцності бетону по швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль – прилад «Пульсар-1.0». Для визначення довжини та діагностики стовбуру паль – прилад «КСКД-3.5 №01». В оголовках деяких паль були виявлені прошарки ґрунту, що свідчить про відсутність контакту між бетоном оголовку палі та бетоном стінки, а арматурні стержні оголені. Також по всій довжині стінки спостерігалися протікання води, що свідчить про відсутність дренажної системи.

Були досліджені чотири палі за проектом завдовжки 10,0-19,0 м, діаметром стовбуру 0,82 м. За результатами досліджень встановлена відсутність дефектів в стовбурах паль і відповідність їх довжини проектним значенням.

6. Розрахунки тримальної здатності підпірної стінки та стійкості схилу.

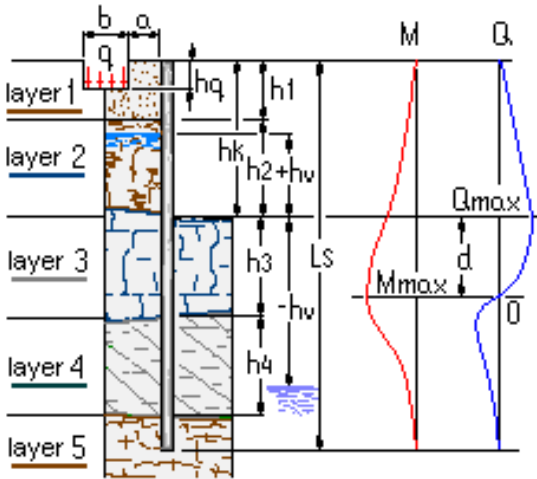
Розрахунки, які наведені нижче в цьому підрозділі, виконані на підставі проектних значень механічних характеристик ґрунтів і залізобетону конструкцій стінки. Останні мали на меті перевірку проектних рішень за умови врахування передпроектних характеристик геологічних даних щодо ґрунтів. Тримальна здатність і деформівність підпірної шпунтової стінки визначалися за допомогою програми «Шпунт в ґрунті» програмного комплексу «Foundation 13.3».

Для розрахунків були обрані вісім перерізів стінки, які характеризуються наявністю тріщин та найбільш невідповідними співвідношеннями висот надземної і підземної частин споруди. Склад ґрунтів основи шпунтів призначався відповідно до наданих замовником результатів інженерно-геологічних досліджень, використаних в проекті стінки. На верхньому рівні стінки прикладалась розподілена нормативна навантага інтенсивністю 1 тс/м^2 .

Нижче наводиться лістинг, сформований програмою для одного з перерізів.

**Результаты расчета
Сечение сваи №95**

1. - Исходные данные:



Количество слоев 5

Характеристики

грунта:

Номер слоя Тип грунта Угол внутр. трения, ° Объемный вес, кН/м³ Сцепление, кПа Толщина, м

Слой 1 Глинистые твердые 10 13.5 28 7.6

Слой 2 Глинистые твердые 14 20.3 42 6.2

Слой 3 Глинистые твердые 14 20.6 30 1.6

Слой 4 Пески мелкие, средние 36 18.7 4 1

Слой 5 Глинистые тугопластичные 25 19.4 15

Исходные данные для расчета:

Наименование данных Обозначение Величина Ед. измерения

Распределенная нагрузка (q_1) 10 кПа

Привязка нагрузки (b_1) 3.1 м

Привязка нагрузки (a_1) 1 м

Привязка нагрузки (h_{q1}) 0 м

Глубина котлована (h_k) 7.6 м

Расстояние до грунтовых вод (h_v) -27 м

Длина шпунта (Ls) 19,95 м

Расчет с учетом трения грунта о шпунт

2. - Выводы:

Максимальная поперечная сила на 1 п.м. шпунта $Q_{\max} = 139,59 \text{ кН}$

*Максимальный момент на 1 п.м. шпунта $M_{\max} = 649,68 \text{ кН*м}$*

*Максимальное давление на плоскость шпунта (у дна котлована)
 $q_{\max} = 36,73 \text{ кПа}$*

Расстояние до сечения с максимальным моментом $d = 2,2 \text{ м}$

Рекомендуемая длина шпунта по Э.В. Костерину (уравнение упругой линии) 34,78 м

Рекомендуемая длина шпунта по Блюму-Ломейеру (нулевой момент) 12,12 м

Рекомендуемая длина шпунта по Э.К. Якоби (нулевая поперечная сила) 10,04 м

Рекомендуемая длина шпунта по опыту строительства (2.2 глубины котлована) 16,72 м

Тип шпунтового ограждения - Сваи железобетонные буровые

Сечение сваи, $D = 0.82 \text{ м}$ Шаг элементов 1 м

Проверка армирования

Арматура 12 D 40 A 400 Бетон B25

Коэффициент использования несущей способности $K = 0,45$

Коэффициент на разреженность ограждения $K_r = 0,82$

По прочности по нормальному сечению армирование ДОСТАТОЧНО

Перемещение в уровне верха котлована $f = 2,56 \text{ см}$

Расчет местной прочности грунта по Е.А. Сорочану:

Напряжение в грунте на глубине 0.1 заделки шпунта 27,49 кПа

Предельное напряжение на глубине 0.1 заделки шпунта 41,07 кПа

По расчету ПРОЧНОСТИ грунта основания коэффициент использования 0,67

Несущая способность сваи по грунту ОБЕСПЕЧЕНА

Аналогічні позитивні результати розрахунків стінки отримані по всіх восьми призначених перерізах.

7. Визначення горизонтальних переміщень верху стіни з урахуванням впливу наявних відступів від проекту та дефектів виконання будівельних робіт. Даний розрахунок проводився з урахуванням послаблення тріщинами та включеннями ґрунту в перерізі стику паль зі стіною та з урахуванням водонасичення ґрунту внаслідок відсутності позастінкового дренажу. Розрахункові дані щодо ґрунту засипки приймалися відповідними шарам ґрунту поруч з цією засипкою.

Були досліджені чотири палі за проектом завдовжки 10,0-19,0 м, діаметром стовбуру $\varnothing 0,82$ м. За результатами досліджень встановлена відсутність дефектів в стовбурах паль і відповідність їх довжини проектним значенням.

Розраховувався переріз стіни з максимальним перепадом відміток ґрунту між нижнім та верхнім рівнями в температурно-усадкових блоках. Максимальні фактичні переміщення на цієї ділянці складають 244 мм.

Жорсткість ділянки стику паль з підпірною стінкою визначалась з урахуванням наявності тільки поздовжньої арматури палі (рис. 4).

В розрахунку прийняті наступні розрахункові передумови:

Фактичні розрахункові значення фізико-механічних характеристик ґрунтів взяті як для водонасичених ґрунтів. Розрахункове значення тимчасової навантаги від транспорту прийняте у розмірі $1,2 \text{ т/м}^2$ на відстані 1,45 м від осі підпірної стінки. Шари ґрунту прийняті відповідно до матеріалів передпроектних і додаткових вишукувань.

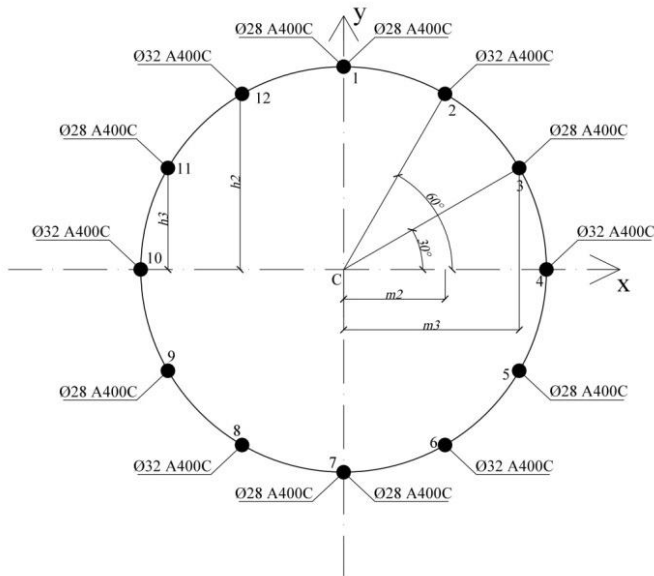


Рис. 3. Переріз стику паль зі стінкою в перерізах з порушеннями шва бетонування

Фактичні горизонтальні переміщення верху даної ділянки підпірної стіни дорівнюють 244 мм. Максимальні горизонтальні переміщення за розрахунком становлять 90 – 100 мм.

Грунтові води під час інженерних вишукувань 2016 року не зустрінуті. Особливості геологічної будови ділянки досліджень сприяють можливості накопичення вод «верховодки» в товщі насипу в періоди тривалих рясних дощів, сніготанення та при аваріях з водонесних комунікацій.

Розрахунки з визначення та перевірки оптимальної глибини занурення паль в ґрунт та відповідних зусиль для характерних перерізів виконані за методом скінченних елементів. Розрахунок напружено-деформованого стану ґрунтового масиву виконувався ітераційним способом на засаді моделі твердіючого тіла. Дана модель дозволяє моделювати поведінку піщаних та глинистих ґрунтів при складних траєкторіях навантаження.

Нижче наведені значення максимальних горизонтальних переміщень верху підпірної стіни по розрахунковим перерізам та наведені дані отримані за результатами розрахунків та геодезичним спостереженням.

Таблиця 1

Результати розрахунків горизонтальних переміщень верху стіни

Назва фази	Відхилення верху стіни від вертикалі, см		Відхилення стіни від вертикалі в рівні дна котловану , см	
	Отримане в розрахунках	Допустиме	Отримане в розрахунках	Допустиме
1	2	3	4	5
Переріз 1-1				
насип	13,7	8,0	6,8	10(16)
дорога	19,7		9,5	
будівлі	20,3		10,1	
Переріз 2-2				
насип	20,5	10,7	7,5	10(32)
дорога	24,7		8,7	
будівлі	29,7		13,6	
Переріз 3-3				
насип	2,3	5,0	1,6	10(15)
дорога	3,1		2,2	
будівлі	5,2		5,1	

Виконане моделювання стійкості схилу встановило, що максимальні розрахункові переміщення верху стіни в розрахункових перерізах перевищують допустимі. Максимальні розрахункові переміщення в рівні поверхні ґрунту, утворюючого реактивні зусилля, в розрахункових перерізах не перевищують допустимі.

Стійкість схилу в розрахункових перерізах забезпечена.

Таблиця 2

Горизонтальні переміщення підпірної стіни ПС-1

Розрахункові перерізи	Фактична висота підпору (h_f), м	Фактичні горизон- тальні перемі- щення стіни (X_f), см	Горизонтальні розрахункові переміщення в фактичній висоті, см		Припустимі значення згідно ДСТУ Б В.1.2- 3:2006, см
			за проектом	імітаційне модельовання	
<u>1-1</u>	3,1	15,8	15,0	23,5	8,0
<u>2-2</u>	5,9	24,4	21,7	30,8	10,7
<u>3-3</u>	2,9	6,5	5,2	7,3	5,0

9. Реалізація науково-технічного супроводу містила обстеження, визначення та моніторинг реального технічного стану стінки. Отримані результати підтверджувались визначенням розрахунковими методами напружено-деформованого стану стінки, масиву ґрунтів. Заключним етапом реалізації комплексу робіт супроводу стала розробка рекомендацій щодо стабілізації стійкості схилу.

ВИСНОВКИ

1. Будівництво підпірної стінки здійснене з наступними відхиленнями від проекту:

- буронабивні палі на всю висоту підпірної стіни з наступною бетонною закидкою були замінені на буроін'єкційні з подальшим суцільним бетонуванням верхньої частини стінки до проектних відміток;

- передбачений проектом дренаж був виконаний частково, але потім в зв'язку з відсутністю в ньому води в період будівництва був практично ліквідований ;

- внутрішня гідроізоляція підпірної стінки не була виконана.

2. Вибіркове обстеження довжини і цілісності паль встановило їх відповідність проектній документації.

3. В процесі обстеження підпірної стіни були зафіксовані 11 зон наявності тріщин і розходження деформаційних швів, а саме в проміжках між палями. Тріщини мають вертикальне і нахилене спрямування і розташовані вздовж всієї підпірної стіни.

4. Встановлені ознаки розвитку зсуву ґрунту з боків нижнього та верхнього рівнів підпірної стінки.

5. По всій довжині підпірної стіни зафіксоване відхилення її верху від вертикалі. Найбільше значення відхилення становить 333 мм в бік пониження рельєфу.

6. В період спостережень впродовж п'яти місяців спостережень зафіксовані:

- протікання води по всій довжині стінки;
- зміщення верху підпірної стіни величиною від 1 до 19 мм. На одній з ділянок зміщення сягали величини від 9 до 19 мм. В районі цієї ділянки нижче по схилу зафіксована на поверхні ґрунту тріщина заколу;

7. Перевірка розрахунками проектних рішень підпірної стінки не виявила невідповідності параметрів напружено-деформованого стану власне стінки, паль і ґрунтів нормативним вимогам.

8. За результатами розрахунків на горизонтальні переміщення верху підпірної стіни з урахуванням виявлених конструктивних дефектів і додаткових інженерно-геологічних вишукувань були встановлені відхилення від нормативно допустимих значень в 2-3 рази.

9. В існуючому стані підпірна стінка визнана спорудою непридатною для нормальної експлуатації. Частину стінки з найбільшими відхиленнями за своїм технічним станом можна класифікувати, як аварійну.

10. З метою усунення існуючого стану підпірної стінки, а також забезпечення надійної експлуатації повинен бути виконаний ряд технічних заходів у вигляді відповідного проекту, розробленого з урахуванням наведених нижче рекомендацій.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. З метою усунення подальшого відхилення підпірної стінки передбачити влаштування утримуючих конструкцій.

2. Враховуючи насиченість проїзної дороги інженерними комунікаціями, а також неможливість перекрити наскрізний проїзд до існуючих будинків, рекомендується влаштування утримуючих конструкцій з нижнього боку стінки.

3. Утримуючі конструкції розташовувати з кроком, який відповідає висоті підпірної стінки.

4. З метою відводу ґрунтових вод з ґрунту засипки в товщі підпірної стіни просвердлити отвори і влаштувати дренажні пристрої.

5. Під отворами уздовж підпірної стіни передбачити залізобетонний лоток (кювет) для відводу ґрунтових вод в зливову каналізацію.

6. З метою запобігання обводненню нижнього схилу, передбачити влаштування поперечних дренажів виконаних у вигляді траншей, заповнених щебнем.

7. Після виконання всіх заходів впродовж 3-5 років проводити моніторинг стану підпірної стінки і всієї території забудови. У випадку виникнення нестандартних ситуацій своєчасно на них реагувати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів: ДБН В.2.1 - 5 – 2007. – К., 2008.
2. Основи та фундаменти споруд: ДБН В.2.1 - 10 – 2009. – К., 2009.
3. Інженерні вишукування для будівництва: ДБН А.2.1 - 1 – 2008. – К., 2008.
4. Геодезичні роботи у будівництві: ДБН В.1.3-2 – 2010. – К., 2010.
5. Руководство по наблюдению за деформациями зданий и сооружений. - М.: Стройиздат, 1975.
6. Прогини та переміщення. Вимоги до проектування: ДСТУ Б В.1.2-3:2006. – К.: Мінрегіонбуд, 2005.
7. Руководство по проектированию и устройству заглубленных инженерных сооружений / НИИСК ГОССТРОЯ СССР. – Москва: Стройиздат, 1986.
8. Випробування бетону в конструкціях. Частина 1. Зразки керни. Відбір, перевірка і випробування на стиск: ДСТУ Б EN 12504-1:2013 (EN 12504-1:2009, IDT).
9. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю: ДСТУ Б В.2.7-220:2009..
10. Оцінка міцності бетону на стиск в конструкціях і збірних бетонних елементах: ДСТУ Б EN 13791:2013 (EN 13791:2007, IDT).
11. Указания по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог: СН 449-72.
12. Несущие и ограждающие конструкции: СНиП 3.03.01-87.
13. Сооружения промышленных предприятий: СНиП 2.03.03-85.

Стаття надійшла до редакції 14.09.2016 р.