

УДК 624.012.45

В.Я. Жиляков, П.А. Резнік, А.М. Шаповалов

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
Україна

ПІДСИЛЕННЯ РОЗМОРОЖЕНОГО ФУНДАМЕНТУ ПІД ВОДОНАПІРНУ БАШТУ

Збудований монолітний залізобетонний фундамент під водонапірну башту висотою 18 м зазнав впливу заморозування під час будівництва. Міцність бетону знизилась і складала 5,6 МПа при заданому значенню 15 МПа. Враховуючи конструктивні пропозиції з підсилення фундаменту, були виконані розрахунки несучої здатності фундаменту та визначені його деформаційні характеристики. Величина головних напружень в бетоні фундаменту знаходиться в межах від 0,2 МПа до 0,5 МПа, що забезпечує міцність та безпеку експлуатації збудованого фундаменту.

Ключові слова: монолітний фундамент, заморозування, підсилення, реконструкція, збереження ослабленого бетону, економічний ефект

Вступ. Актуальність проблеми

Врахування надійності та безпеки експлуатації будинків і споруд у випадку різноманітних несприятливих умов будівництва набули в теперішній час надзвичайно важливе значення [1,2]. До таких несприятливих умов відносяться порушення геометричних параметрів будівлі, відхилення від запроєктованих положень у вертикальному та горизонтальному напрямках конструктивних елементів, використання занижених міцнісних характеристик будівельних матеріалів, грубі порушення технології виконання будівельно-монтажних робіт та багато інших [3,4].

Особливого значення набуває виконання монолітних бетонних робіт в умовах значних знижень зовнішніх температур до -15°C , -20°C . Існуючі методи зігрівання бетону (електро-термопрогрів, додавання у склад бетону певних хімічних сполук для прискорення твердіння та зниження температури твердіння, влаштування теплових камер, штучний підігрів бетону та інші) не завжди дають очікуваний результат. Тим більш виникають непередбачувані аварійні ситуації, коли відбуваються різноманітні обставини з порушенням температури прогрівання бетону, і тоді частина бетону замерзає і втрачає запроєктовані міцнісні характеристики.

Виникає складне завдання: або руйнувати усю виготовлену конструкцію і нести значні економічні збитки, або знайти вихід в конкретних обставинах і шляхом підсилення або зміною конструктивного рішення зберегти існуючу конструкцію і таким чином суттєво зменшити матеріальні витрати [4,5].

Аналіз літературних джерел та визначення проблеми

В сучасних умовах будівництва монолітних фундаментів та інших залізобетонних конструкцій дедалі все частіше зустрічаються певні дефекти та пошкодження, які потрібно технічно грамотно кваліфікувати та розробляти методи усунення виявлених дефектів [6,7]. Особливе місце серед існуючих дефектів займає непередбачуване замороження бетону. При цьому відбувається значне зниження міцності бетону, яке може досягати тільки 2,5 МПа, а іноді складає нульове значення. Систематичних досліджень в цьому напрямку дуже мало, особливо в проблемах зростання міцності замороженого бетону в часі та в глибині промерзання бетону. В роботах Є.Р. Хило, Б.С. Поповича, А.Н. Добромислова, А.І. Бедова та багатьох інших [6-9] заморожений бетон вважається неякісним матеріалом, який не можна використовувати як несучий елемент.

В більшості випадків рекомендується руйнування цього бетону по усьому об'єму або зрубування на глибину його замерзання. Не можна використати в цьому випадку підсилення вуглепластиковими елементами Sikadur-330 компанії "Sika" та інші полімерні модифікації і хімічні сполуки.

В особливо складних умовах перебувають заморожені монолітні залізобетонні фундаменти або плити, на які може спиратися великовагова надбудова.

Випадки заморожування фундаментів найчастіше спостерігаються в тих місцях, де будівництво відбувається на значних відстанях від крупних міст та селищ, а це, як правило, фундаменти під вежі,

ретранслятори, водонапірні башти, електроопори і таке інше.

Відомі випадки заморожування фундаментів під опори веж стільникового зв'язку у м. Слав'яно-Сербську (2014 р.), у м. Горлівка (2009 р.) під опори високо напружених ліній електропередач, у м. Вовчанську (2006 р.) під опору рами теплотраси та багато інших випадків. І в кожному разі заморожені фундаменти були зруйновані і відбудовані заново.

Схожий випадок трапився в селищі Кутузівка Харківської області, де під час влаштування суцільного монолітного фундаменту під водонапірну башту в січні місяці 2017 р. відбулося різке зниження температури повітря і фундамент об'ємом близько 28 м³ був заморожений. Треба було вирішувати проблему про руйнування фундаменту та його відбудову або знайти таке рішення, щоб зберегти фундамент і зекономити значні матеріальні витрати та витримати запланований наперед термін будівництва.

Визначення цілі та завдання досліджень

Для того, щоб вирішити поставлену проблему про збереження замороженого фундаменту, треба було визначити фактичну міцність бетону, і на цій основі розробити конструктивні пропозиції щодо підсилення або реконструкції фундаменту.

Після розробки певного конструктивного рішення була перевірена несуча здатність підсиленого фундаменту з використанням програмного комплексу «Ліра – САПР». Зовнішні навантаження на фундамент приймаються у відповідності до типового проекту ТПР 901-5-045.88 [8], висота башти 18 м, об'єм металевого резервуару для води 50 м³.

Вираховані теоретичні напруження в фундаменті не повинні перевищувати значень несучої здатності бетону на стиск та розтяг, які визначаються в процесі обстеження фундаменту. Загальний вигляд замороженого фундаменту приведений на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд монолітного залізобетонного фундаменту, який зазнав впливу заморожування

В плані фундамент має вигляд правильного восьмикутника зі сторонами 1990 мм та габаритами 4,8 x 4,8 м висотою 1,5 м. Діаметр кола, по якому розміщені закладні деталі розміром 320x200 мм, складає 2 м.

Формалізація завдання

Перевірити несучу спроможність замороженого фундаменту, підсиленого зовнішнім залізобетонним корсетом, можливо тільки при умові, що є достатня інформація про фактичну міцність бетону після його обстеження та витримки при позитивній температурі.

Такі обстеження були виконані будівельною лабораторією АТ «Трест Житлобуд 1» в місті Харкові, міцність бетону визначалась на зразках циліндрів, які висвердловались із тіла фундаменту. Величина мінімальної міцності бетону складала від 3,5 до 6,0 МПа, що набагато менше від проектною міцності 15 МПа, клас бетону С 12/15.

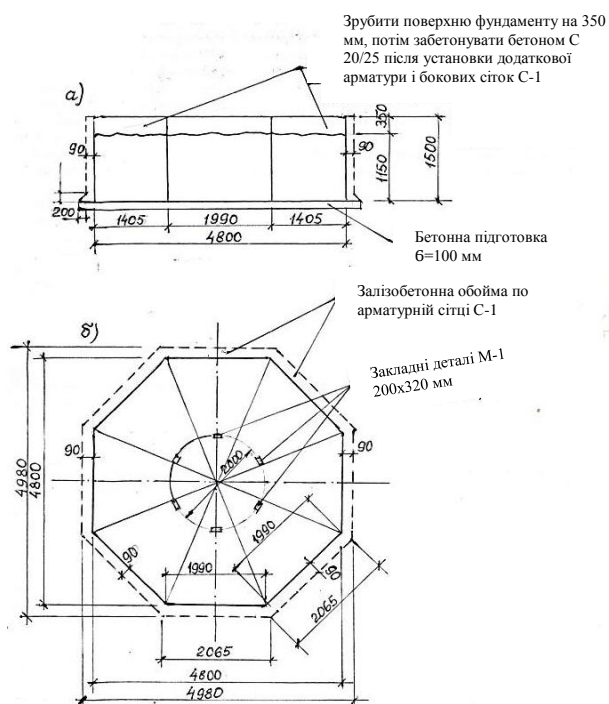
Запропоноване підсилення замороженого фундаменту і часткова його реконструкція повинні забезпечити достатню надійність і безпеку його експлуатації у самих несприятливих умовах. Технічний стан фундаменту під час обстеження відноситься до III категорії (не допускається експлуатація без підсилення та ремонту), по класу наслідків (відповідальності) водонапірна башта відноситься до СС2 (середні наслідки).

Методи вирішення завдання

В першу чергу була розроблена конструктивна схема підсилення замороженого фундаменту. Зміст цього підсилення складався в тому, що спочатку зрубався верхній шар бетону на глибину 350 мм. Така глибина була обумовлена збереженням існуючих закладених деталей в проектному положенні та зміцненню анкерування закладених деталей в новому бетоні підвищеної міцності. Бокові поверхні фундаменту очищувались від бітумної обмазки та огортались бетонною сорочкою товщиною 90÷100мм. Для забезпечення сумісної роботи накладеної сорочки-корсету з існуючим тілом фундаменту на усіх бокових поверхнях влаштовувались анкерні коротиші загальною довжиною 250 мм з арматурної сталі А400С діаметром 12 мм. Кількість таких стрижнів на бокову грань складала 35÷40 штук. На ці анкерні коротиші закріплювалась конструктивна сітка з чарункою 200x200 мм і діаметром арматури 8мм, клас А400С.

Додатково була встановлена арматура ф10 мм в верхній зоні (там, де виконувалось зрублення 350 мм) по існуючим радіальним стрижням, щоб отримати підвищену міцність верхньої частини фундаменту на яку спирається металевий резервуар.

Запроектвані нові розміри фундаменту та розташування закладених деталей приведено на рис.2.



анкерних коротишів $\phi 12$ мм на боковій поверхні фундаменту.

Розроблена схема підсилення по формі нагадує стакан, перевернутий дном догори в середині якого знаходиться ослаблений по міцності бетон. Для бетонування бокових стінок огортаючої сорочки та верхньої частини фундаменту використовувався бетон підвищеної міцності класу С20/25.

Враховуючи запропоноване конструктивне рішення був виконаний статичний розрахунок підсиленого фундаменту з визначенням внутрішніх напружень в фундаменті та розрахунок деформацій (осадок) усього тіла фундаменту на програмному комплексі «Ліра».

Була використана об'ємна просторова модель. В якості скінчених елементів в процесі розрахунку розглядалися об'ємні елементи $5 \times 5 \times 5$ см, а на ділянках підсилення об'ємні елементи приймалися $2,5 \times 2,5 \times 2,5$ см. Таке дрібне значення скінчених елементів дозволило з максимальною точністю визначити внутрішні напруження та встановити характер їхніх розподілень.

В якості розрахункових навантажень прийняте вертикальне навантаження $N=1865$ кН, яке складається з власної ваги башти з водою, ваги снігу та обледеніння (650 кН). Це навантаження було розподілене на площу кола діаметром 2 м.

Друга частина навантаження 1215 кН складається з ваги ґрунту, яким обсапється башта та фундамент. Це навантаження розподіляється на решті площі фундаменту, вільної від башти.

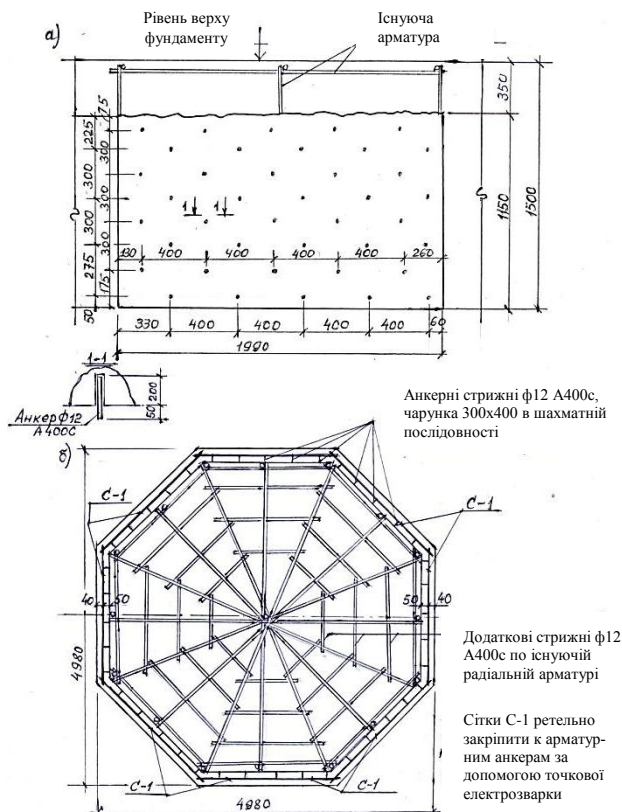
Згинаючий момент від вітрового навантаження та температурного впливу прийнятий 520кН·м.

Міцність бетону основного масиву складає $f_{cd}=14$ МПа. Ґрунтова основа введена з коефіцієнтом ліжка 1000 т/м³.

Результати проведених досліджень

На основі розрахунку напруженого стану фундаменту на задані навантаження по всьому об'єму були отримані напруження у трьох напрямках: σ_x , σ_y , σ_z , а також головні напруження σ_1 , σ_2 , σ_3 [11,12].

Значення напруження σ_x та σ_z приведені на рис.4 і рис.5. Величина цих напружень незначна і знаходиться в межах для стискаючих напружень від $2,51$ кг·с/см² (0,251 МПа) до $3,08$ кг·с/см² (0,308 МПа). Але поряд з стискаючими напруженнями з'являються також розтягуючі, величина яких сягає $1,6$ кг·с/см² (0,16 МПа). Цікаво було відмітити, що в зовнішній охоплюючій сорочці фундаменту напруження в напрямках x і z незначні і не перевищують $0,257$ кг·с/см².



На рис.3 показано армування верхньої частини фундаменту додатковою арматурою та встановлення

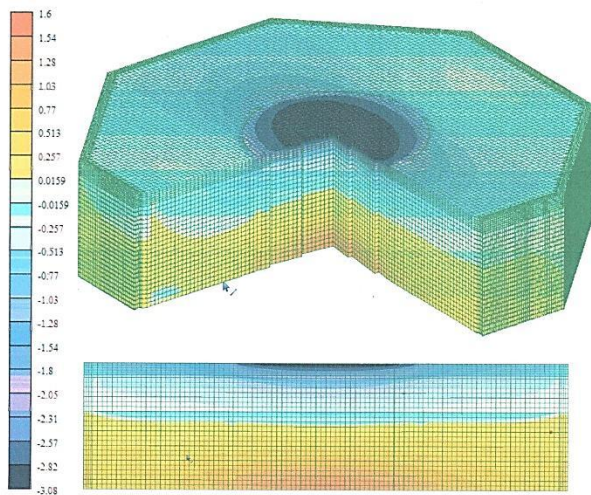


Рис. 4. Розподілення нормальних напружень σ_x в напрямку x по об'єму фундаменту

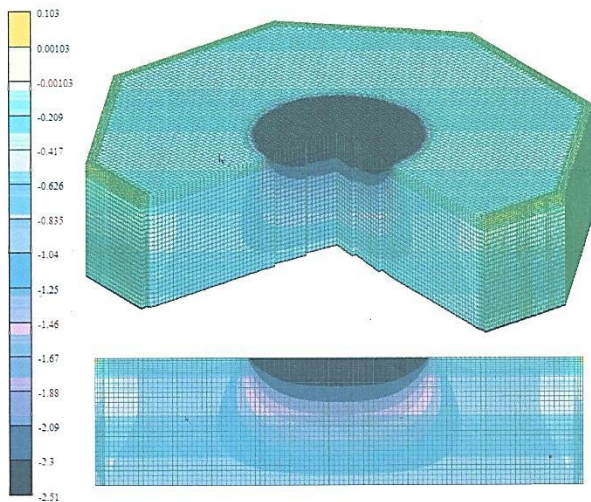


Рис. 5. Розподілення нормальних напружень σ_z в напрямку z по об'єму фундаменту

При аналізі головних напружень σ_1 можна відмітити, що ці напруження майже симетрично розподілені по поверхні та вглибину фундаменту. Найбільші значення цих напружень розташовані в центральній частині фундаменту і дорівнюють $2,49 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ ($0,25 \text{ МПа}$). Поля головних напружень приведені на рис.6.

Головні напруження в нижній зоні фундаменту мають розтягуючі значення, але влаштування зовнішньої охоплюючої оболонки буде стримувати розвиток цих напружень.

Важливим питанням в розрахунку фундаменту була оцінка його деформативності. Послаблена міцність бетону могла привести до значних переміщень (осадок) фундаменту. Отримані результати розрахунку показали, що по усій площі фундаменту переміщення майже однакові і становлять $9,91\text{-}9,99 \text{ мм}$, що цілком допустимо для інженерних споруд подіб-

ного типу. Характер переміщень фундаменту показаний на рис.7.

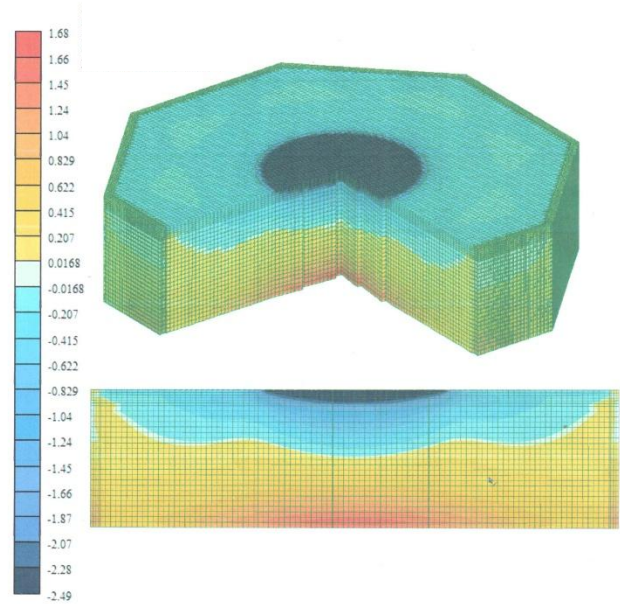


Рис. 6. Поля головних напружень σ_1 на поверхні та всередині фундаменту

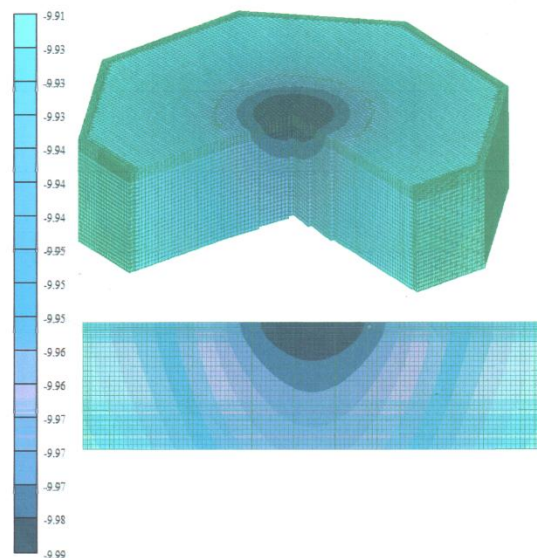


Рис. 7. Поля вертикальних переміщень підсиленого фундаменту, мм

Таким чином, проведені аналітичні розрахунки несучої здатності підсиленого та частково реконструйованого фундаменту (збільшилися параметри габаритних розмірів фундаменту в плані на 200 мм) дозволили оцінити значення внутрішніх напружень у трьох напрямках та порівняти їх з фактичною міцністю бетону. Величина внутрішніх напружень не перевищувала $2\text{-}3,5 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$, а фактична міцність бетону складає $5\text{-}6 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$, тобто несуча здатність

фундаменту, підсиленого зовнішньою залізобетонною оболонкою, цілком достатня.

Паралельно був проведений економічний аналіз запропонованого конструктивного рішення. Об'єм бетону для підсилення фундаменту склав усього 9,5 м³, витрати арматури 250 кг. Загальна вартість матеріалів 17,1 тис. грн. Якщо відбудувати фундамент заново, то його вартість становила б 45,2 тис. грн. Економічний ефект дорівнює 28,1 тис. грн., що також підтверджує доцільність виконання робіт з підсилення та реконструкції фундаменту.

Висновки з дослідження та перспективи подальшого його розвитку в даному напрямку

1. Залізобетонні монолітні конструкції, які під впливом деяких причин зазнали впливу процесу заморожування, потребують різноманітного обстеження і певних конструктивних змін для можливості їхнього збереження та подальшої безпечної експлуатації.

2. Обстежений фундамент під водонапірну башту ємкістю 50 м³ і висотою 18 м був заморожений, мав послаблену структуру верхнього шару і міцність бетону всередині тільки 5-7 МПа (50-70 кг·с/см²) при проектному значенні 15 МПа.

3. Враховуючи значний об'єм фундаменту (близько 28 м³) і з наміром збереження його основної частини, був запропонований варіант підсилення фундаменту шляхом розбирання (зрублення) верхньої частини на глибину 350 мм зі збереженням закладних деталей. Одночасно створювалась зовнішня залізобетонна обойма-сорочка товщиною 90 мм. Для заповнення полостей використовувався бетон класу С 20/25.

4. Були виконані статичні та динамічні розрахунки підсиленого фундаменту з метою визначення внутрішніх напружень, при цьому був використаний розрахунково-програмний комплекс «ЛіраСАПР». Значення напружень не перевищували 2-3 кг·с/см² (0,2-0,3 МПа), що цілком задовольняє умовам безпечної експлуатації фундаменту, переміщення склали тільки 10 мм [12].

5. Запропонований та реалізований варіант підсилення фундаменту дозволив суттєво зменшити матеріальні та трудові ресурси в порівнянні з його повною відбудовою, скоротити термін введення в експлуатацію повного комплексу водонапірної башти, забезпечити безпеку її експлуатації.

6. Назріла нагальна необхідність в проведенні широкомасштабних досліджень в оцінці міцнісних параметрів заморожених конструкцій та розробці конструктивних рішень щодо підсилення таких конструкцій.

Література

1. ДБН В.1.2-14:2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 37 с.
2. ДСТУ БВ.2.6-156:2010 Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування [Текст]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.
3. Бедов, А.Н. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений [Текст] / А.Н. Бедов, В.Ф. Сапрыкин – М.: изд-во АСВ, 1995. – 192 с.
4. Добромислов, А.Н. Диагностика поврежденных зданий и инженерных сооружений [Текст] / А.Н. Добромислов. – М.: изд-во АСВ. – МГСУ, 2008. – 304 с.
5. Мальганов, А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий [Текст]: атлас схем и чертежей / А.И. Мальганов, В.С. Плевков, А.Н. Полищук. – Томск, 1990. – 123 с.
6. Хило, Е.Р. Усиление строительных конструкций [Текст] / Е.Р. Хило, Б.С. Попович. – Львов: изд-во при Львовском гос. университете издательского объединения «Вища школа», 1985. – 154 с.
7. Онуфриев, Н.М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений [Текст] / Н.М. Онуфриев. – М., Л.: Стройиздат, 1965. – 340 с.
8. Типовой проект ТПР 901-5-045.88 Унифицированные водонапорные башни заводского изготовления (система Рожновского) ёмкостью 15,25,50 м³, высотой опоры 10,12,15,18 м. Альбом 1 [Текст]. – М.: Гипропроектсельхоз, 1972 – 48 с.
9. ДСТУ – Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 44 с.
10. Oden, I., Reddy, I. (1976) An introduction to the mathematical theory of finite elements. N.Y.: Wiley, 256.
11. Smukler, V.S. (2008) About One Possibility of Compromise – Guterion Construction in Structure Parameter Rationalization Task Dundee. Scotland, 38.
12. Smukler, V.S. (2005) Evolutionist approach in rationalization of building structures. ISEC – 03, Third International structural Engineering and construction Conference, Shunan, Japan.

References

1. DBN B.1.2-14: 2009 (2010) *General principles of reliability and structural safety of buildings, structures, building structures and foundations*. Kyiv: Miner-hyostroy of Ukraine, 37.
2. DSTU BV2.6-156: 2010 (2011) *Concrete and reinforced concrete constants from heavy concrete. Design rules*. Kyiv: Minregionstroy of Ukraine, 118.
3. Bedov, A.N., Saprykin, V.F. (1995) *Inspection and reconstruction of reinforced concrete and stone structures of operated buildings and structures*. Moscow: Publishing House of the DIA, 192.
4. Dobromyslov, A.N. (2008) *Diagnostics of damage to buildings and engineering structures*. M.: publishing house of the DIA. - MSSU, 304.
5. Malganov, A.I., Plevkov, V.S., Polishchuk, A.N. (1990) *Restoration and strengthening of building designs of*

emergency and reconditioned buildings: atlas of schemes and drawings. *Tomsk*, 123.

6. Hilo, E.R., Popovich, B.S. (1985) Strengthening of construction constructions. *Lviv: Izd-vo in the Lviv state. University of the publishing association "Vishcha school"*, 154.

7. Onufriev, N.M. (1965) Strengthening of reinforced concrete structures of industrial buildings and structures. *M.,L.: Stroyizdat*, 340.

8. Typical project TPD 901-5-045.88 (1972) *Unified water towers factory-made (Rozhnovsky system) with the capacity of 15,25,50 m³, the height of the support 10,12,15,18 m. Album I. M.*: Giproniselhoz, 48.

9. DSTU-N BV.1.2-18: 2016 (2017) *Guidelines for inspection of buildings and structures for the determination and evaluation of their technical condition*. Kyiv: UkrNDNTS, 44 .

10. Oden, I., Reddy, I. (1976) An introduction to the mathematical theory of finite elements. *N.Y.: Wiley*, 256.

11. Smukler, V.S. (2008) About One Possibility of Compromise – Guterion Construction in Structure Parameter Rationalization Task Dundee. *Scotland*, 38.

12. Smukler, V.S. (2005) Evolutionist approach in rationalization of building structures. *ISEC – 03, Third International structural Engineering and construction Conference, Shunan, Japan*.

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.С. Шмуклер, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

Автор: ЖИЛЯКОВ Валерій Якович
кандидат технічних наук, доцент кафедри Будівельних конструкцій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail - valeriy_steel@ukr.net

Автор: РЕЗНІК Петро Аркадійович
кандидат технічних наук, старший викладач кафедри Будівельних конструкцій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – engiPR@gmail.com

Автор: ШАПОВАЛОВ Олександр Микитович
кандидат технічних наук, доцент кафедри Будівельних конструкцій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – ashapovnik@gmail.com

STRENGTHENING THE UNFROZEN FOUNDATION UNDER THE WATER TOWER

V. Zhilyakov, P. Reznik, A. Shapovalov

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The monolithic reinforced concrete foundation under the water tower height of 18 meters in the village of Kutuzivka, Kharkiv region, was subjected to freezing during construction. The strength of concrete at the same time decreased significantly and amounted to 5.6 MPa for a given project value of 15 MPa. It was necessary to recognize the foundation: either to completely dismantle it and to rebuild it, or to remain in a weakened state by taking some measures to strengthen it and reconstruct it.

Analyzing the design and technical documentation and taking into account the constructive proposals for strengthening the foundation, calculations of the bearing capacity of the reinforced foundation were performed and determined its deformation characteristics. The calculations were performed on the software complex "Lira CAD". Tensions were determined in finite elements of the foundation for a three-dimensional three - dimensional model: x, y, z. At the same time, major tensions were identified.

Calculations have shown that the magnitude of the main stresses in the foundation concrete is in the range from 0.2 MPa to 0.5 MPa, which is quite permissible to ensure the strength and safety of the operation of the built basement. Vertical displacements of the foundation in the zone of its soles reach 10 mm allowed by the norms for engineering structures of this type.

The implementation of the proposed recommendations for reinforcement and partial reconstruction of the foundation (cutting of the upper layer of concrete with a thickness of 350 mm, coverage around the perimeter of an octagonal foundation with a reinforced concrete corset with a thickness of 90 mm and concreting of these cavities with high strength concrete, class C 20/25) reliability and operational safety during the standard period of operation - at least 60 years and achieve economic efficiency.

Keywords: *monolithic foundation, freezing, amplification, reconstruction, preservation of weakened concrete, economic effect*