

Д.Г. Гладішев, Г.М. Гладішев*
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра архітектурних конструкцій,
* кафедра будівельних конструкцій та мостів

ДОСВІД ОБСТЕЖЕННЯ, ПІДСИЛЕННЯ ТА РЕМОНТУ ОБОЛОНКИ ЗБІРНОЇ РЕБРИСТОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БІКОНІЧНОЇ ГРАДИРНІ

О Гладішев Д.Г., Гладішев Г.М., 2011

Наведено результати обстеження та технологія підсилення та ремонту зовнішньої поверхні оболонки градирні. Подані конструктивні рішення з введенням попереднього напруження нової кільцевої арматури по висоті градирні.

Ключові слова: градирня, обстеження, підсилення, ремонт.

Presented results of inspection and technology of strengthening and repair of external surface of shell of cooling tower. Structural decisions are given with introduction of previous tension of new circular armature on the height of cooling tower.

Key words: cooling tower, inspection, strengthening, repair.

Постановка проблеми. Досвід експлуатації баштових градирень показує, що найбільш довговічні та економічні башти виконані із залізобетону. Основними перевагами таких градирень є те, що в результаті щільності оболонки забезпечується добре охолодження, а відповідно, економиться паливо та підвищується коефіцієнт корисної дії. Як правило, у будівництві залізобетонних баштових градирень, застосовують монолітний залізобетон у вигляді гіперболічної гладкої оболонки. Однак, зведення тонкостінних залізобетонних високих оболонок супроводжується складною організацією та низькою індустріалізацією робіт. З метою спрощення виконання робіт у деяких країнах почали зводити збірні ребристі залізобетонні оболонки.

На теренах Радянського Союзу у 1961 р. була побудована перша і єдина збірна ребриста залізобетонна біконічна градирня на Дарницькій ТЕЦ за проектом Н.Н. Доценко [3]. Досвід експлуатаційного технічного нагляду за спорудами такого типу відсутній. На теперішній час в конструктивних елементах оболонки градирні утворились дефекти, які прогресують. Тому виникла необхідність обстеження та виявлення фактичного технічного стану елементів збірних залізобетонних конструкцій оболонки, що є актуальним і необхідним завданням для аналізу роботи таких споруд.

Аналіз останніх досліджень. Після тривалого, безексплуатаційного періоду, автори статті виконали комплексне обстеження фактичного стану збірної ребристої біконічної градирні № 4 висотою 55 м на Дарницькій ТЕЦ у м. Києві (рис. 1).

Градирня, висотою 55м та максимальним діаметром 49 м, має збірну залізобетонну біконічну оболонку із циліндричною вставкою та верхнім ребром жорсткості. Нижнє ребро жорсткості оперте на нахилену колонаду з 40-ма опорними елементами. Оболонка змонтована з 400 залізобетонних панелей (10 ярусів по 40 панелей в кожному ярусі) трапецієподібної (в плані) форми, довжиною 5,2 м та змінної ширини. Панель оболонки – кесонного типу.

Проведене обстеження по оболонці градирні дає можливість зробити такі висновки про її технічний стан:

1. Ребристі плити оболонки градирні (близько 30 років, до її зупинки) експлуатувалися під одностороннім впливом технологічної води та її парів (з внутрішнього боку) та під атмосферними впливами та значними температурними перепадами протягом року у конкретному кліматичному районі.

2. Повітряне середовище можна вважати „слабко-агресивним” по відношенню до залізобетону, „середньо-агресивним” по відношенню до металоконструкцій та відкритої арматури.

3. Технологічна вода в градирні класифікується як „неагресивна” по відношенню до бетону і „середньо-агресивна” по відношенню до металоконструкцій та відкритої арматури.

4. Проектна марка бетону М300, віднесена до міцності кубів 20×20×20 см, згідно з чинним на час проектування нормативними документами. Проектний клас “В” бетону ребристих плит оболонки за класифікацією **табл. 2** [1] становить В25. Умовна проектна марка бетону, віднесена до міцності кубів 15×15×15 см, становить М315.

5. Враховуючи статистичне оброблення фактичних міцнісних характеристик бетону ребристих плит оболонки, можна засвідчити, що по окремих плитах клас “В” бетону коливається від В30 до В50, марка бетону віднесена до кубів 15×15×15см коливається від М375 до М600, що вказує на значне коливання його міцності по окремих перерізах плит і на задовільний, недостатній контроль якості бетону під час виготовлення конструкцій. До того ж фактичний мінімальний клас В30 та марка М375 бетону вищі за проектні значення В25 та умовної марки бетону М315.

6. Виконане загальне статистичне оброблення даних міцнісних характеристик бетону ребристих плит оболонки показало, що фактичний мінімальний клас “В” (марка “М”) бетону становлять В37,5 (М375) за загального коефіцієнта варіації $U=14,3\%$, що більше від проектного класу В25 та умовної марки бетону М315. Це значить, що при 28-добовому віці клас та марка бетону ребристих плит були дещо вищими від проектних. Для статичних розрахунків можна прийняти клас бетону ребристих плит оболонки В30.

7. Вплив техногенних та атмосферних дій на бетон з достатньо високими показниками міцності за час експлуатації градирні відбувався насамперед за рахунок процесу корозії арматури при малій фактичній товщині захисного шару бетону. Захисний шар бетону робочої арматури ребристих плит коливається у значному діапазоні 10–60 мм. Менші значення характерні для бокових граней ребер плит, більші – для їх верхніх граней.

8. У місцях елементів плит оболонки градирні, де товщина захисного шару недостатня, за рахунок корозії арматури, утворюються тріщини паралельні за напрямком арматури з подальшим відшаруванням захисного шару з об’ємом, який залежить від місця розташування прокородованої арматури (площина полицки плити, кут ребра тощо).

9. Основною причиною деградації бетону конструкцій оболонки є прояви фізичної форми корозії. Вона пов’язана з дією на зволожений бетон знакозмінних температур протягом року. Ці процеси випереджають корозійне пошкодження арматури, якщо вона має достатній захисний шар бетону.

10. Захисний шар бетону арматури сіток у полицках ребристих плит коливається у значному діапазоні 0–12, 14 мм. Менші значення характерні для зовнішніх граней полицок плит, де немає фіксуєчого стержня $\varnothing 12$, $\varnothing 14$ мм для забезпечення захисного шару бетону сітки. Там, де є такі стержні, якими фіксували зовнішній захисний шар (12, 14 мм) сіток, на них передусім проявляється корозійне пошкодження (рис. 3).

11. Під час виготовлення плит не виконане центральне розташування арматурних сіток в перерізі полицок плит. Фактично, вертикальна арматура сіток полицок виходить на зовнішню поверхню полицок, або має захисний шар 0–14 мм, тобто менше від проектного 18,5 мм. Проектні



Рис. 1. Збірна ребриста біконічна градирня після ремонту оболонки

арматурні сітки в полицках ребристих плит виконані з арматури $\varnothing 4$ А-І з постійним кроком комірки 200×200 мм.

12. Закладні деталі суміжних плит об'єднуються металевими накладками товщиною 8 мм, у зв'язку з цим в площинах верхньої та нижньої граней можна було забезпечити товщину захисного шару бетону накладок тільки 7 мм, що недостатньо для захисту їх від корозійних процесів. Фактично, товщина захисного шару 15–20 мм на значній площині металу виконана торкретбетоном у вигляді напластування, яке виходить за грані плит на 8–13 мм (рис. 4). Прийняте рішення недосконале за рахунок недостатньої адгезії звичайного торкретбетону до металу навіть під час ретельного оброблення його поверхні.

13. Верхні грані усіх горизонтальних ребер на семи ярусах (рис. 2) плит мають ухил $9,1^\circ$ до полицок плит, що призводить до накопичення води та льоду на їх поверхні і призводить до активізації корозії бетону та робочої арматури, яка спостерігалася у значній кількості плит оболонки.



Рис. 2. Руйнування горизонтальних і вертикальних ребер з оголенням та корозією робочої арматури в плиті третього ярусу



Рис. 3. Руйнування захисного шару бетону полицок ребристих плит четвертого ярусу з оголенням та корозією арматурних стержнів, якими фіксували зовнішній захисний шар (12, 14 мм) арматури сіток

14. Зовнішня робоча арматура $3\varnothing 8$, А-І двох середніх горизонтальних ребер плит місцями прокородувала на глибину 0,4–0,8 мм з утворення шаруватої іржі.

15. Зовнішня робоча арматура $2\varnothing 8$, А-І верхніх та нижніх горизонтальних ребер плит місцями прокородувала на глибину 0,5–1 мм з утворення шаруватої іржі, в місцях деякі з цих стержнів прокородовані на 100 % .

16. Армуння елементів збірних ребристих плит оболонки П-1, П-2, П-3, П-4 (товщина ребер 250 мм, армування симетричне) таке: крайніх вертикальних ребер – $6\varnothing 14$, А-І; середнього вертикального ребра – $8\varnothing 14$, А-І; верхнього горизонтального ребра – $4\varnothing 8$ А-І; двох середніх горизонтальних ребер – $6\varnothing 8$, А-І; нижнього горизонтального ребра – $4\varnothing 8$, А-І, $6\varnothing 8$, А-І – тільки для П-1.

17. Армуння елементів збірних ребристих плит оболонки П-5, П-6, П-7 (товщина ребер 200 мм, армування симетричне) таке: крайніх вертикальних ребер – $6\varnothing 8$, А-І; середнього вертикального ребра – $8\varnothing 8$, А-І; верхнього горизонтального ребра – $4\varnothing 8$, А-І; двох середніх горизонтальних ребер – $6\varnothing 8$, А-І; нижнього горизонтального ребра – $4\varnothing 8$, А-І.

18. Армуння елементів збірних ребристих плит оболонки П-8 (загальна товщина ребер 200 мм, верхнього та нижнього горизонтальних ребер 450 мм, армування симетричне) таке: крайніх вертикальних ребер – $6\varnothing 8$, А-І; середнього вертикального ребра – $8\varnothing 8$, А-І; верхнього горизонтального ребра – $10\varnothing 12$, А-І; двох середніх горизонтальних ребер – $6\varnothing 8$, А-І; нижнього горизонтального ребра – $10\varnothing 12$, А-І.

19. Армуння поперечною арматурою всіх каркасів ребер однакове – $2\varnothing 6$ А-І, крок 200 мм.

20. Проектне армування збігається з фактичним армуванням плит оболонки.

На основі ретельного огляду залізобетонних конструкцій оболонки можна зробити висновок, що найважливіша небезпека для її статичної роботи є втрата зчеплення бетону та арматури зі зменшенням площі перерізу бетону до 25 % та арматури в результаті її корозії. Ці дефекти виникають за рахунок прогресуючої корозії арматури та дії холодної конденсованої води у місцях робочих швів між ребристими плитами та тріщин в їх полицках.

Ці обстеження викладені у зведених таблицях технічного стану та об'ємів основних видів дефектів по всіх елементах конструкції оболонки градирні, що достатньо для розроблення документації з їх ремонту.

Оболонка загалом перебуває у стані III – непридатному до експлуатації (в елементах конструкцій мають місце дефекти та пошкодження, які свідчать про зниження їх несучої здатності. Деякі з виявлених дефектів в елементах несучих конструкцій зовнішньої поверхні оболонки градирні наведені на рис. 2–5.

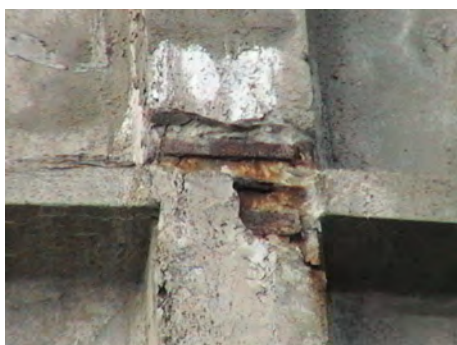


Рис. 4. Руйнування торкрету, оголення та корозія закладних деталей вертикального стику ребристих плит другого ярусу



Рис. 5. Руйнування захисного шару бетону, оголення і корозія арматури та закладних деталей на верхньому ребрі жорсткості на відм. +55,1 м

Мета та задачі досліджень. Для підвищення надійності елементів будівельних конструкцій оболонки і ліквідації виявлених дефектів, необхідно виконати підсилення ребер плит в ній та провести ремонт внутрішньої і зовнішньої поверхні.

Під час розроблення проекту реконструкції, з підсиленням конструктивних елементів градирні, першочерговими завданнями є розрахунок зусиль та з'ясування фактичної несучої здатності елементів споруди. Потрібно звертати увагу на особливості роботи конструкції за температурних технологічних та кліматичних навантажень споруди у зимову пору.

Під час розрахунку, споруду загалом слід розглядати як оболонково-стержневу систему. Панель оболонки розглядається як тонка плита, ексцентрично з'єднана із ребрами. Стінка панелей та монолітний пояс оболонки описуються рівняннями малих деформацій пружних однорідних оболонок. Ребра панелей і стиків, ребра жорсткості циліндричної частини та верхнього поясу, колонада та ригелі похилої колонади описуються рівняннями малих деформацій пружних прямолинійних стрижнів. Закріплення колон на нижньому кінці – защемлення, з'єднання колон з ригелем, ригеля з монолітним поясом, монолітного поясу з панелями, панелей між собою та з ребрами жорсткості оболонки – жорстке.

У розрахунку конструкцій градирні потрібно брати до уваги такі навантаження: власну вагу, вагу опадів, вітрові, температурні технологічні, температурні кліматичні навантаження для літнього та зимового періодів експлуатації та за відсутності експлуатації споруди.

З аналізу результатів розрахунків встановлено, що:

- Ø у зимову пору температурне технологічне навантаження зумовлює виникнення істотних поздовжніх зусиль розтягу в горизонтальних ребрах, а також у ребрах жорсткості споруд подібного типу, під час проектування розглядуваної споруди ці зусилля не враховані;

- Ø вказані зусилля виникають за рахунок особливостей температурних полів у поперечному перерізі ребер та стінки плити, при яких температурні деформації теплового розширення у стінці плити в напрямі вздовж ребра більші, ніж відповідні деформації у ребрі;
- Ø при дії температурних навантажень на одну з поверхонь конструктивних елементів ребристої структури з несиметрично виступаючими ребрами і істотній різниці товщин ребра та стінки необхідно додатково враховувати можливість виникнення зусиль за рахунок неоднорідності температурного поля по поперечному перерізі елементів.

Необхідно також зауважити, що у разі застосування для опису поведінки оболонки градирні співвідношень теорії безмоментних оболонок, в силу статичної визначеності задачі, мембранні зусилля від температурної дії дорівнюватимуть нулю і величини розрахункових зусиль розтягу у ребрах оболонки будуть значно занижені.

За результатами розрахунку потрібно розробити проект підсилення конструктивних елементів оболонки градирні. Також необхідно раціонально підібрати матеріали для ремонту поверхні оболонки і елементів підсилення.

Результати досліджень. Для розроблення робочого проекту підсилення збірної біконічної оболонки градирні використали отримані за розрахунком поздовжні внутрішні зусилля у горизонтальних та вертикальних ребрах плит та ребрах жорсткості оболонки.

Автори статті запропонували конструктивні рішення з введенням попереднього напруження нової кільцевої арматури (рис. 6), замість прокородованої існуючої арматури, для попередження тріщиноутворень в бетоні плит та розкриття вертикальних швів між збірними ребристими панелями.

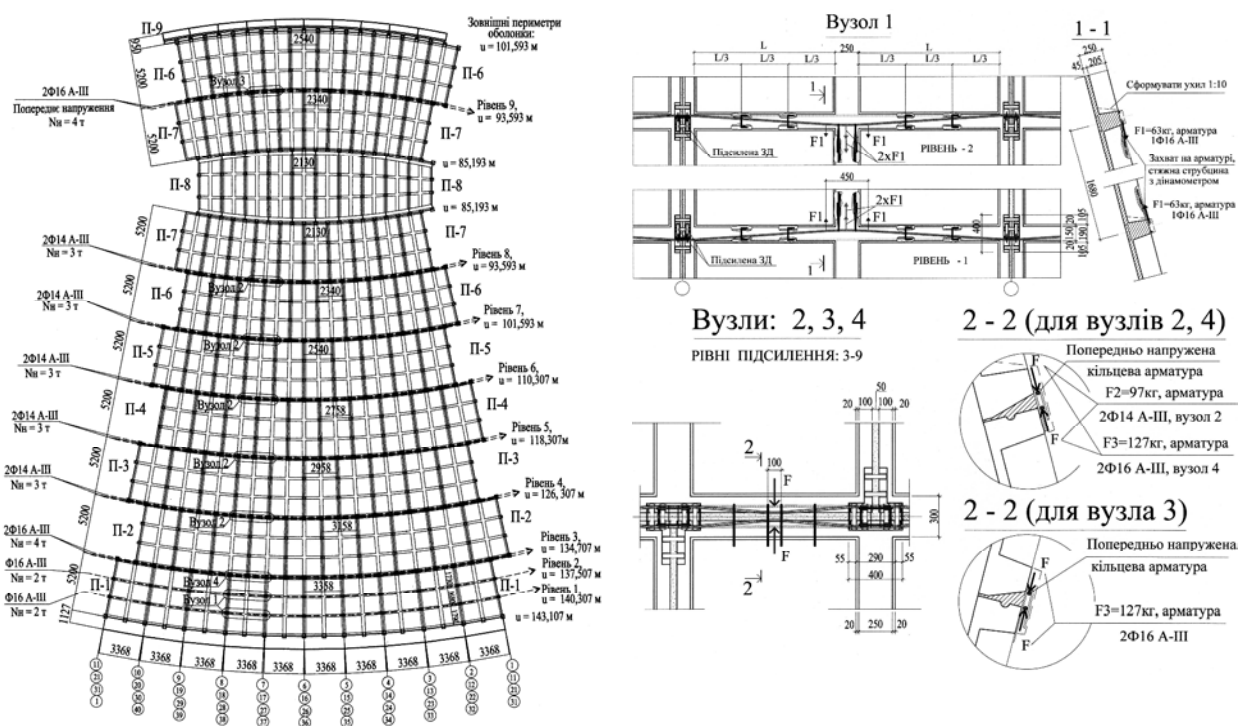


Рис. 6. Підсилення горизонтальних стикових ребер плит оболонки.
Вузли: 1, 2, 3, 4 включення в роботу кільцевої арматури

Підвищували надійності та ліквідацію дефектів в елементах будівельних конструкцій оболонки градирні ін'єктуванням тріщин, поверхневим ремонтом з обов'язковим поверхневим захистом від деградації бетону і корозії арматури та металу елементів закладних деталей згідно з розробленими авторами технологічних карт на ремонт, та захисне покриття збірної біконічної оболонки та інших елементів градирні з використанням матеріалів Sika.

Конструкції підсилення оболонки та інших елементів градирині запроектовані згідно з вимогами чинних нормативних документів. Перед ремонтом та підсиленням зовнішньої поверхні оболонки градирині виконали підсилення та ремонт колон нахиленої колонади градині із використанням матеріалів фірми Sika.

Ремонт ділянок руйнування бетону в полчках збірних залізобетонних плит. Під час проведення ремонту зовнішньої поверхні оболонки (до ремонту внутрішньої поверхні оболонки), приймали рішення з ремонту полочки.

У зонах руйнування полочки, які не виходять за межі вертикальних та горизонтальних ребер збірних залізобетонних плит, виконували такі роботи:

- Ø очищали та підготовлювали оголену арматуру;
- Ø прокородовану арматуру дублювали арматурними стрижнями аналогічного або більшого діаметра і класу;
- Ø наносили антикорозійний захист (Sika® Mono Top 610) на очищену арматуру;
- Ø у випадку крізних ділянок руйнування бетону полочки, з внутрішньої поверхні оболонки ставили та закріплювали опалубку;
- Ø на бокові поверхні отвору наносили клеючий розчин (Sika® Mono Top 610) та наносили торкрет на зону руйнування полочки і на всі прилеглі до цієї зони ділянки зовнішньої поверхні оболонки, де був зруйнований бетон, або виконували ремонт вручну Sika® Mono Top 612 чи Sika® Mono Top 614, залежно від товщини шару, який потрібно нанести.

Ремонт зовнішньої поверхні оболонки та захист попередньо напруженої арматури підсилення виконували у такій послідовності:

- Ø очищали ділянки зовнішньої поверхні оболонки від зруйнованого бетону та бетону, що відшарувався;
- Ø очищали закладні деталі та з'єднувальні накладки збірних залізобетонних плит;
- Ø монтували закладні деталі підсилення оболонки градирині на закладні деталі оболонки;
- Ø монтували горизонтальну кільцеву арматуру підсилення без її провисання (криві стержні не використовували) по окремому замкнутому периметру оболонки з початковою її фіксацією виступаючою арматурою закладних деталей із наступною привваркою арматури до закладних деталей підсилення; стики горизонтальної арматури підсилення виконували таким чином щоб вони були розташовані не ближче 150мм до закладних деталей підсилення і не знаходилися в центральних зонах стрижнів, де здійснювали натяг та фіксацію арматури підсилення після її натягу; площа стику арматури підсилення повинна бути паралельною площині оболонки;
- Ø під час монтажу горизонтальної арматури підсилення, до виконання її попереднього натягу, на арматуру підсилення одягали хомути (рис. 6) та зафіксували їх на вище розташованому арматурному стрижні в'язальним дротом; монтаж і натяг арматури починали з нижньої частини оболонки; після монтажу всієї горизонтальної арматури виконували її натяг по одному повному периметру оболонки; для включення арматури в роботу, зусилля натягу в одному арматурному стержні: Ø14 А-III – $N_{14}=15,4$ кН=1,54т; Ø16 А-III – $N_{16}=20,1$ кН=2,01 т;
- Ø значення зусиль зустрічного стягування подвійних стержнів, в яких виконується попередній натяг:
 - для досягнення зусиль $N_{16}=20,1$ кН=2,01 т в кожній одинарній арматурі Ø16 А-III „1”-го та „2”-го рівнів, яка розташована для зручності стягування дзеркально у вузлі – 1, стягували між собою зустрічним зусиллям $F_{16}=0,63$ кН=63 кг (рис. 6);
 - для досягнення зусиль $N_{16}=20,1$ кН=2,01 т в кожній арматурі Ø16 А-III, подвійні стрижні арматури у вузлах 3 та 4 (рис. 6) стягували між собою зустрічним зусиллям $P_{16}=1,27$ кН=127 кг;

- для досягнення зусиль $N_{14}=15,4 \text{ кН}=1,54 \text{ т}$ в кожній арматурі $\varnothing 14$ А-III, подвійні стрижні арматури у вузлі (рис. 6) стягували між собою зустрічним зусиллям $P_{14}=0,97 \text{ кН}=97 \text{ кг}$;
- натяг виконували на окремих ділянках (між закладними деталями, поступово по повному замкнутому периметру оболонки, попередній натяг арматури зафіксували хомутами;



Рис. 7. Анкерування кільцевої напруженої арматури на підсилені закладних деталях панелей



Рис. 8. Елемент підсилення напруженою арматурою між закладними деталями стикування панелей



Рис. 9. Підсилені горизонтальні ребра плит оболонки з включеною в роботу кільцевою арматурою (під час виконання захисту напруженої арматури від корозії)

- Ø виконали ремонт внутрішньої поверхні оболонки;
- Ø очищали та підготували закладні деталі, з'єднувальні накладки збірних залізобетонних плит і закладні деталі підсилення під нанесення захисного покриття (Icosit 277);
- Ø наносили на поверхню закладних деталей та з'єднувальних накладок збірних залізобетонних плит і закладних деталей підсилення захисне покриття (з двох шарів Icosit 277);
- Ø очищали і підготовлювали до антикорозійного захисту оголену арматуру плит та попередньо напружену арматуру;

- Ø наносили антикорозійний захист (Sika® Mono Top 610) на арматуру;
- Ø наносили торкрет на всі зруйновані та очищені ділянки бетону, включаючи горизонтальні ребра плит, де розташована попередньо напружена арматура, та всі горизонтальні ребра плит для утворення ухилу 1:10 на їх верхньої грані (на поверхні оболонки). Склад торкрету залежав від товщини шару, який слід нанести;
- Ø на робочій ділянці, відразу після нанесення торкрету, зони з підвищеною шорсткістю поверхні торкрету зразу загладжували;
- Ø наносили поверхневу гідрофобізуючу пропіку (Sikagard®720 EpoSem) та захисне покриття (Sikagard®680 Betoncolor) зовнішньої поверхні градирні.

Висновки. Причини утворення дефектів у залізобетонних конструкціях оболонки та їхнє прогресування спричинене:

- Ø недоліками проекту;
- Ø відхиленнями геометрії та включенням ділянок неякісного бетону при виготовленні плит;
- Ø відхиленнями від проекту під час монтажу оболонки;
- Ø впливом температурних, техногенних і атмосферних дій на арматуру та бетон.

Дослідження розподілу температур та напружено-деформованого стану елементів градирні показали, що температурні впливи є основними силовими факторами у спорудах такого типу.

Чотирирічна експлуатація градирні після її підсилення та ремонту матеріалами Sika показала логічність прийнятих проектних та технологічних рішень.

1. СНиП 2.03.01-84. *Бетонные и железобетонные конструкции.* – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. 2. СНиП 2.09.03-85. *Сооружения промышленных предприятий.* – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 3. Доценко Н.Н. *Строительство сборной железобетонной градирни.* – К.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре УССР, 1961. – 40 с. 4. Гладішев Г.М., Бутринський І.З., Гладішев Д.Г., Панченко О.В. *Дослідження особливостей напруженого стану елементів ребристої градирні при дії температурних навантажень* // Вісник ДонДАБА. – Макіївка, 2003. – Вип. 2003-2 (39), т. 2. – С. 70–75. 5. Гладішев Г.М., Гладішев Д.Г., Бутринський І.З. *Аналіз напружено-деформованого стану залізобетонної градирні № 1 ТЕЦ-6 у м. Києві* // Вісник Львівського територіального відділення Академії Будівництва України. – Львів, 2008. – № 4/08. – С. 30–35. 6. Гладішев Г.М., Гладішев Д.Г., Бутринський І.З. *Моделювання та розрахунок зусиль у елементах ребристої градирні із врахуванням особливостей її роботи при температурному навантаженні* // Вісник Львівського територіального відділення Академії Будівництва України. – Львів, 2010. – № 5/10. – С. 89–94.