

АРХІТЕКТУРНА ФІЗИКА ТА КОНСТРУКЦІЇ

УДК 624.12, 69.059.4

Д. Г. Гладішев, М. О. Бродський
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра архітектурних конструкцій

ВАРІАНТИ ПІДСИЛЕННЯ ОБОЛОНОК ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ГРАДИРЕНЬ ЗАЛЕЖНО ВІД КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ФАКТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

О Гладішев Д. Г., Бродський М. О., 2015

У статті наведені конструктивні рішення підсилення залізобетонних оболонок баштових градирень із застосуванням попередньо напружених та звичайних зовнішніх залізобетонних ребер або композитних матеріалів, які застосовані на реальних об'єктах України і Польщі.

Ключові слова: баштова градирня, оболонка, обстеження, підсилення, ремонт.

Постановка проблеми

Досвід будівництва показує, що абсолютної якості усіх висотних споруд досягнути практично неможливо. Це підтверджується аналізом технічних станів висотних споруд при їх ретельному обстеженні. На жаль, як правило, не проводять ретельне здаточне обстеження споруди, з яким можна порівнювати наступні технічні стани її елементів. Тому, практично у всіх випадках, результати обстежень порівнюються з „ідеальним” – проектним станом, за умови, що в проекті не допущені дефекти, які викликали пошкодження, виявлені під час експлуатації або обстеження споруди [1]. Експлуатаційна придатність і довговічність конструкцій, як відомо [2] залежить не тільки від проектувальника, а і від виробників матеріалів, постачальників конструкцій, монтажників, будівельників і експлуатаційників.

Вибір конструктивної схеми споруд ніякими документами не регламентується. Вибираючи ту чи іншу схему, проектувальник, тим самим, визначає рівень „схемної надійності” майбутньої споруди загалом, незалежно від експлуатаційної придатності кожного елемента. У тих випадках, коли величину можливих зовнішніх навантажень і дій точно встановити не можна, для деяких елементів споруди, проектувальник прагне забезпечити підвищену його “схемну надійність”.

Ретельне комплексне обстеження технічного стану конструктивних елементів діючих висотних споруд є важливим напрямком проведенням наукових досліджень, бо сам предмет досліджень вже збудований. Збір та аналіз матеріалів обстежень дає змогу обґрунтувати розробку більш досконалих конструктивних рішень та вибору більш раціональних конструктивних схем висотних споруд [3, 4]. Сукупність отриманого матеріалу дасть основи для розробки уточнених методів розрахунків і, як кінцевий результат – удосконалення нормативних документів, які висвітлюють: етапи, методика досліджень, обробку результатів, пошук та обґрунтування варіантів можливих технічних рішень при проектуванні і підсиленні елементів висотних споруд, які забезпечать довготривалу та надійну їх експлуатацію [2].

Для того, щоб при підсиленні запобігти простому дублюванню елементів і при цьому створити надійну будівельну конструкцію, проектувальник повинен уявляти усю картину будівництва і подальшої експлуатації, а також враховувати різні конструктивні особливості і фактичний технічний стан цієї конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Гради́рня – це споруда (устаткування) для охолодження великої кількості води направленим потоком повітря. Залежно від варіанта подачі повітря градирні бувають вентиляторні, баштові та відкриті (атмосферні). Для охолодження циркуляційної води оборотних систем енергетичних підприємств (ТЕЦ, АЕС) застосовують баштові градирні (рис. 1), які можуть бути заввишки 200 м. Залежно від матеріалу основних несучих конструкцій, баштові градирні можуть бути металевими або залізобетонними.



Рис. 1. Баштові градирні: а – залізобетонні; б - металеві

Досвід експлуатації баштових споруд показує, що найбільш довговічні та економічні градирні виконані із залізобетону [5, 6, 7, 8]. Як правило, оболонки таких споруд виконуються монолітними, гіперболоїдної форми. Однак, зведення тонкостінних монолітних залізобетонних оболонок супроводжується складною організацією та низькою індустріалізацією робіт, тому у деяких країнах почали зводити збірні залізобетонні оболонки [5].

Встановлений термін експлуатації градирень, згідно з нормативними документами [2], – 40 років. Продовження терміну експлуатації понад встановлений допускається лише після проведення обстеження і оцінки технічного стану споруди. При цьому мають бути вказані особливі умови експлуатації або висунуті вимоги щодо заходів із недопущення перевантажень тощо.

Мета та предмети досліджень

У цій статті розглянуто декілька реалізованих у практиці будівництва підходів до питання розробки варіантів підсилення оболонок залізобетонних градирень, залежно від виявленого обстеженням їх технічного стану та конструктивних особливостей оболонок.

Предметом розгляду та аналізу стали: збірна залізобетонна ребриста біконічна оболонка градирні № 4 на Дарницькій ТЕЦ у м. Києві в Україні та монолітна залізобетонна оболонка градирні № 2 електростанції Adamow у Польщі. Зафіксоване цікаве співпадіння за терміном їхньої експлуатації, приблизно 40 років.

Гради́рня № 4 на Дарницькій ТЕЦ – це перша і єдина збірна ребриста залізобетонна біконічна градирня на теренах Радянського Союзу, яка збудована за проектом Н. Н. Доценко. Висота градирні – 55,1 м, максимальний діаметр – 49 м, площа зрошування 1600 м². Її оболонка змонтована з 400 залізобетонних панелей (10 ярусів по 40 панелей в кожному ярусі) трапецієподібної (в плані) форми, кесонного типу, довжиною 5,2 м та змінною шириною [5]. Враховуючи індивідуальність споруди, досвід експлуатаційного технічного нагляду та підсилення споруд такого типу відсутній.

Градирня № 2 електростанції Adamow у Польщі – монолітна залізобетонна градирня з гіперболоїдною оболонкою обертання, площею зорошування 1600 м². Повна висота градирні 90 м, максимальний діаметр – 66,8 м.

Виклад основного матеріалу

Збірна залізобетонна градирня № 4 на Дарницькій ТЕЦ у м. Києві, Україна.

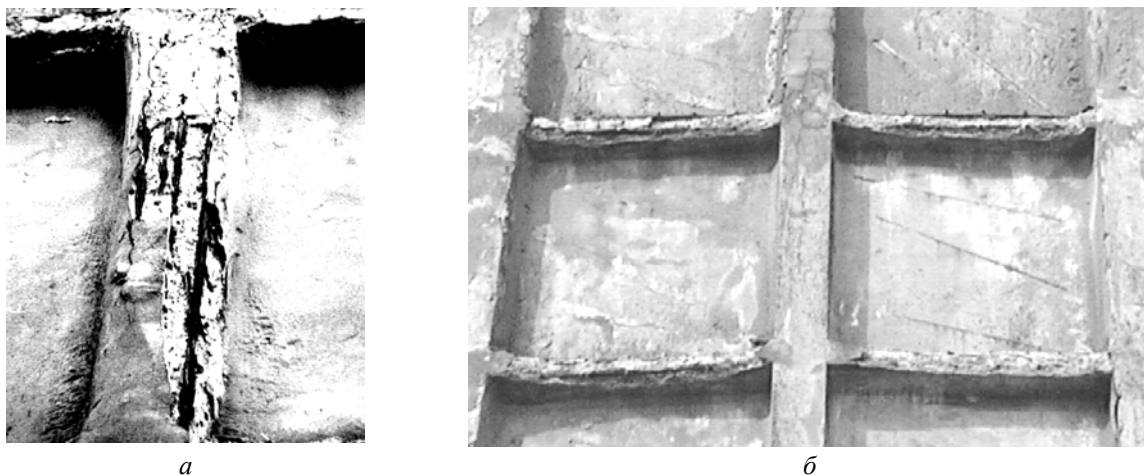
Градирня була збудована у 1961 році, а у 1996 році – зупинена. Після тривалого безексплуатаційного періоду, у 2003 році науково-проектна фірма “Реконстрпроект” при участі авторів, здійснила повне комплексне обстеження цього об’єкта, метою якого було оцінити технічний стан усіх її конструктивних елементів.

З проведених досліджень збірної залізобетонної оболонки градирні випливає, що:

– оболонка на діючі експлуатаційні навантаження перебуває у незадовільному технічному стані (непридатному до нормальної експлуатації). Головною небезпекою для її статичної роботи є втрата зчеплення бетону з арматурою зі зменшенням площі перерізу бетону горизонтальних ребер до 25 %. Робоча арматура у горизонтальних ребрах панелей у результаті корозії втратила від 24 % до 80 % своєї площі (рис. 2).

– з аналізу проведених розрахунків встановлено, що у зимовий період температурне технологічне навантаження зумовлює виникнення істотних поздовжніх зусиль розтягу в горизонтальних ребрах, які під час проектування цієї споруди не враховані. Ці зусилля виникають за через особливості температурних полів у поперечному перерізі ребер та стінки панелей, при яких температурні деформації теплового розширення у стінці панелі в напрямі вздовж ребра більші ніж відповідні деформації у ребрі.

– необхідно виконати капітальний ремонт з підсилення оболонки з метою надання градирні необхідної експлуатаційної міцності для забезпечення безпеки її подальшої надійної експлуатації.



*Рис. 2. Деякі дефекти в оболонці градирні Дарницької ТЕЦ:
а – корозія арматури панелі по вертикальних ребрах;
б – корозія арматури та руйнування горизонтальних ребер*

З огляду на зазначене вище, у 2003 р., за участю автора, був розроблений технічний проект ремонту та підсилення оболонки градирні.

Технологія ремонту та підсилення передбачала використання матеріалів фірми Sika для захисту від деградації бетону та корозії арматури і металу елементів закладних деталей. У проекті, крім типових ремонтних робіт, запропоновано конструктивне рішення із введенням нової кільцевої попередньо напруженої арматури замість прокородованої існуючої, для фіксації та зменшення вертикальних тріщиноутворень у бетоні панелей та вертикальних швів між ними. Таке підсилення передбачене за сімома ярусами стикових ребер панелей та за двома середніми ребрами панелей першого ярусу (рис. 3).

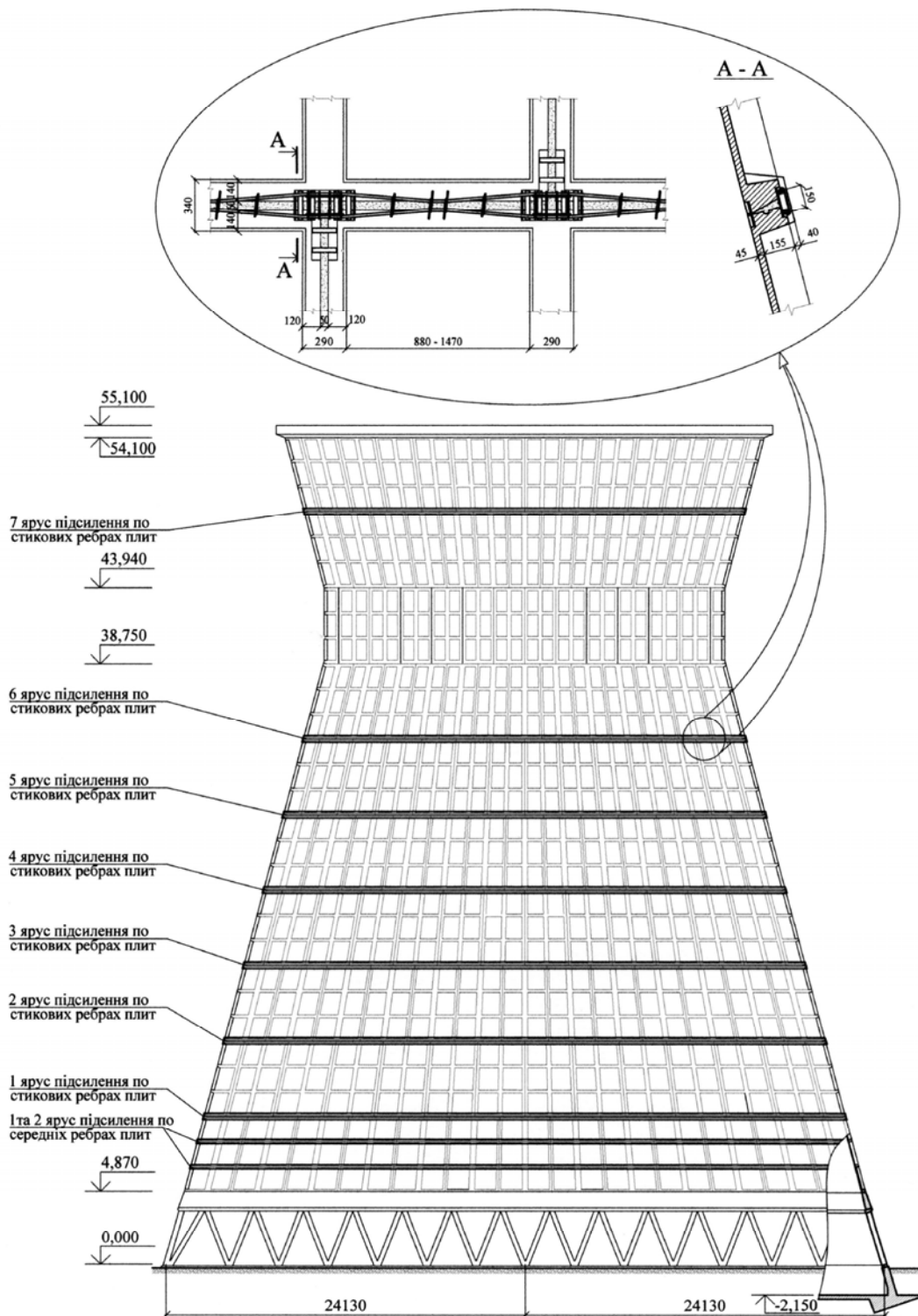
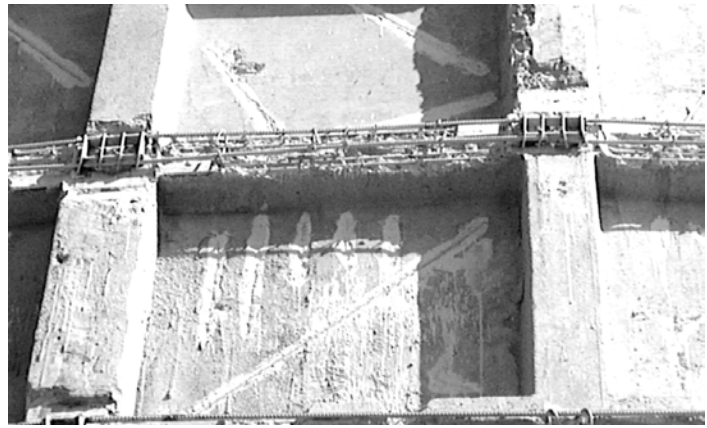


Рис. 3. Яруси підсилення горизонтальних ребер збірних залізобетонних панелей оболонки градирні кільцевою попередньо напруженою арматурою

Технологія улаштування підсилення включала: закріплення нової кільцевої арматури ($\varnothing 14$, $\varnothing 16$ А-III) до попередньо очищених і підсилених закладних деталей та з'єднувальних накладок для стикування панелей (рис. 4, а); подальший натяг нової кільцевої арматури та його фіксування поперечними хомутами (рис. 4, б). Остаточо, після встановлення елементів нового підсилення та їх захисту нової кільцевої попередньо напруженої арматури, існуючої та додаткової арматури підсилення встановленої для підсилення або заміни існуючої, проводилось торкретування цих ділянок по периметру оболонки (рис. 5, б).



а



б

*Рис. 4. Процес виконання підсилення горизонтальних ребер панелей:
а – закріплення кільцевої арматури на підсилені закладних деталях панелей;
б – між закладними деталями попередньо напружені арматурні стрижні поєднані між собою хомутами та зафіксовані до існуючої арматури горизонтальних ребер*



Рис. 5. Збірна залізобетонна градирня Дарницької ТЕЦ після реконструкції



Рис. 6. Зовнішня поверхня оболонки градирні під час її ремонту та підсилення попередньо напруженими арматурними стрижнями в межах додаткових горизонтальних ребер жорсткості

Градирня після підсилення та ремонту була введена в експлуатацію у 2004 році.

Монолітна залізобетонна градирня № 2 електростанції Adamow у Польщі.

Градирня була збудована у 1962 році. У 2001 р. було здійснено її комплексне обстеження, метою якого була оцінка технічного стану конструкцій. Результати цих досліджень відображені в роботі [7], з яких випливає, що:

- градирня загалом перебуває у незадовільному технічному стані;
- технічний стан оболонки можна оцінити як перед аварійний, це означає, що у випадку дії граничних навантажень існує реальна загроза її руйнування;
- необхідно виконати капітальний ремонт із підсилення оболонки з метою надання градирні необхідної експлуатаційної міцності для забезпечення безпеки її подальшої експлуатації.

У зв'язку з зазначеним вище, у 2004 р. був розроблений технічний проект ремонту та підсилення градирні. В цьому проекті передбачено виконання підсилення в ділянці найбільших пошкоджень поверхні оболонки градирні (від 37 до 45 циклів бетонування по всьому її периметру).

Були розроблені два варіанти виконання підсилення оболонки.

У першому варіанті автори роботи [7] розглядали підсилення оболонки градирні залізобетонними ребрами з зовнішньої сторони. Запропонована схема виконання підсилення складається з 3-х паралельних горизонтальних ребер та 23-х ребер, які перпендикулярні до горизонтальних ребер (рис. 7). Ці ребра утворюють регулярну зовнішню залізобетонну решітку, яка включається у сумісну роботу з перерізом бетону самої оболонки.

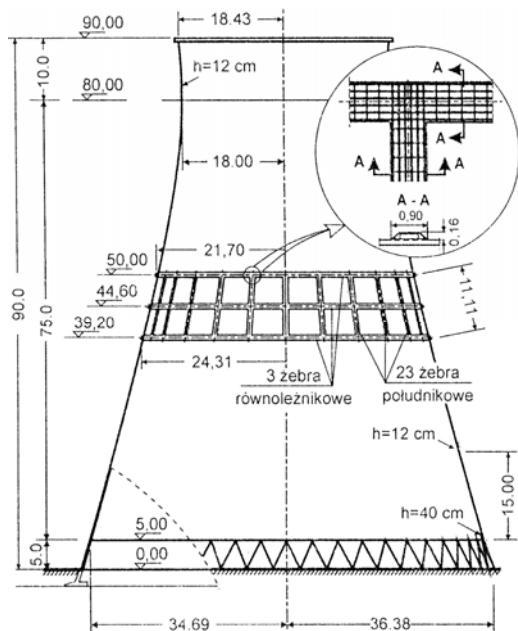


Рис. 7. Підсилення оболонки градирні залізобетонними ребрами – перший варіант*

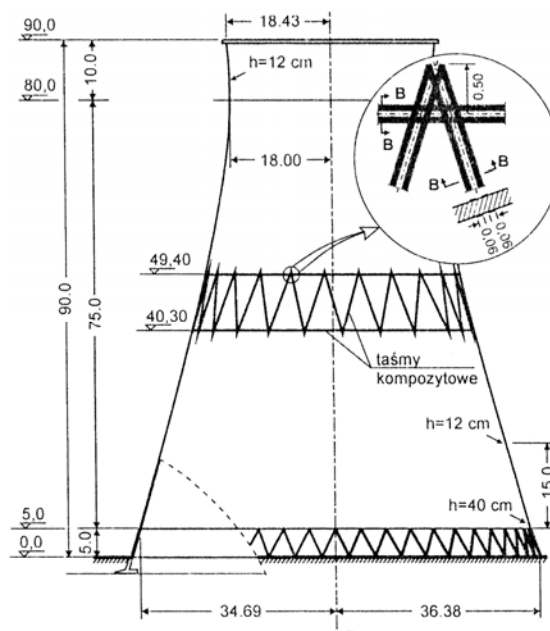


Рис. 8. Підсилення оболонки градирні композитними стрічками – другий варіант*

Підсилення оболонки градирні за допомогою залізобетонних ребер вже були виконані на території Польщі на градирнях № 2 і № 8 електростанції Turossow [8] та на градирні № 5 електростанції Adamow [6]. В цих підсиленнях ребра працюють як самонесучі конструкції з великою поперечною жорсткістю. Запропоноване авторами роботи [7] підсилення з системи залізобетонних ребер включається в роботу сумісно з оболонкою градирні.

Другий варіант підсилення полягав у влаштуванні композитних стрічок фірми Sika, які наклеюються на внутрішню та зовнішню поверхні оболонки градирні (рис. 8). Додаткове армування залізобетонної оболонки композитними стрічками повинне виконувати роль основного підсилення. При цьому варіанті композитні стрічки слід розташувати одна напроти другої з двох боків оболонки градирні.

Аналіз доцільності застосування оптимального з двох варіантів підсилення оболонки, розглянутих в роботі [7], містив такі параметри:

- забезпечення несучої здатності конструкції;
- технологічні умови виконання підсилення;
- довговічність експлуатації підсиленої конструкції;
- вартість виконання підсилення;
- надійність роботи підсиленої конструкції.

Виконані розрахунки [6] показали, що запропоновані підсилення збільшують несучу здатність поверхні оболонки градирні на 10–15 %. Дещо більша несуча здатність поверхні оболонки досягається при застосуванні для підсилення композитних стрічок, але які треба встановити на зовнішній та внутрішній поверхнях оболонки.

* Ці рисунки скопійовані з [9]

Технологія виконання підсилення у двох варіантах є різною.

Процес виконання підсилення оболонки у першому варіанті за допомогою залізобетонних ребер є важким і трудомістким. Традиційно такі роботи виконуються з підвісних люльок. Перелік робіт з підсилення, які потрібно виконати, досить великий. Необхідні технологічні перерви, адже фронт робіт розбитий на значну кількість захваток. Труднощі транспортування матеріалів на робочі відмітки. Особливості робіт із підсилення мають вплив на термін їх виконання та вартість.

При якісному виконанні робіт з підсилення оболонки залізобетонними ребрами, ребра залишаються монолітно зв'язаними з оболонкою.

Усунення можливих пошкоджень залізобетонних ребер підсилення, практично тільки від атмосферних впливів, буде відбуватися разом з усією оболонкою на зовнішній її поверхні.

У другому варіанті підсилення передбачено виконувати з застосуванням стрічок Sika Carbodur S614 шириною 60 мм і товщиною 1,4 мм. Стрічки пропонують наклеювати попарно на внутрішній та зовнішній поверхнях оболонки по паралельних кільцевих периметрах оболонки на віддалі 12 см між осями стрічок, на клею Sika Dur 30.

Тривалість влаштування стрічок є незначною. Всі роботи традиційно виконують із підвісних люльок. Технологія не передбачає обов'язкових перерв у виконанні робіт. Клей набирає міцності за 24 год. Окрім цього, необхідно виконати захист стрічок від внутрішнього технологічного та зовнішніх атмосферних впливів.

У випадку неякісної основи та недотримання технології приклеювання стрічок, може відбутись їх відклеювання від основи. Такі пошкодження легко зауважити й усунути повторним приклеюванням стрічки до основи. Для ліквідації пошкоджень такого типу, на внутрішній поверхні оболонки, роботу градирні слід зупинити.

Повторне приклеювання стрічок на дефектних ділянках до основи з внутрішньої або зовнішньої поверхонь може змінити напружений стан в оболонці.

Порівняння вартості виконання підсилення показало, що при виконанні підсилення залізобетонними ребрами практично удвічі дорожче за виконання підсилення оболонки композитними стрічками [9].

Порівняльний аналіз двох варіантів показує, що підсилення системою композитних стрічок є кращим технічним рішенням порівняно з влаштуванням системи залізобетонних ребер, що характеризується коротшим терміном виконання, меншою вартістю, легшим контролем якості виконання робіт.

Аргументами, які свідчать проти застосування композитних стрічок є те, що вони мало застосовувались у градирнях, особливо на внутрішній поверхні оболонок. У випадку неякісної основи та недотримання технології при улаштуванні підсилення стрічками, може відбутись їх відклеювання від основи. Для ліквідації пошкоджень такого типу, роботу градирні слід призупиняти.

Для забезпечення довговічності та надійності експлуатації Підсилення оболонки градирні було виконано у 2004 році системою залізобетонних ребер із зовнішньої сторони оболонки градирні.

Висновки

1. Протягом усього життєвого циклу градирні (на етапі експлуатації) потрібно здійснювати науково-технічний супровід, оскільки незадовільний технічний стан її конструкції можна обґрунтовано оцінити тільки за аналізом результатів ретельного комплексного обстеження та перевірочних розрахунків її конструктивних елементів.

2. При розробленні проектів підсилення оболонок градирень слід брати до уваги їхні конструктивні особливості, характер їх фактичного технічного стану з урахуванням розподілу міцнісних характеристик бетону та стану арматури за характерними робочими перерізами, характер

просторової роботи оболонки градирні з урахуванням і стану опорної колонади, яка за своїми параметрами може суттєво вплинути на роботу оболонки.

3. Десятирічна експлуатація градирні № 4 Дарницької ТЕЦ та дев'ятирічна робота градирні № 2 електростанції Adamow, після підсилення їх оболонок залізобетонними поясами різних типів (без та із попереднім напруженням арматури поясів) та ремонту бетонних поверхонь оболонок матеріалами Sika, показала логічність прийнятих проектних та технологічних рішень.

1. *Науково-технічний супровід будівельних об'єктів: ДБН В.1.2-5:2007.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. 2. *Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ: ДБН В.1.2-14-2009.* – К.: Мінбуд України, 2009. 3. *Корсун В. И. Исследование напряженно-деформированного состояния трехсекционной железобетонной градирни / В. И. Корсун, Л. В. Стебляко, А. В. Корсун // Вісн. ДонДАБА, № 2(39), том 2 – Макіївка: ДонДАБА. – 2003. – С. 113–118.* 4. *Корсун В. И., Волкова А. С. Оценка эффективности применения высокопрочных бетонов для возведения дымовых труб // Вісн. ДонНАБА, № 4(78) – Макіївка: ДонНАБА. – 2009. – С. 60–64.* 5. *Гладишев Д. Г. Дослідження технічного стану будівель, споруд та їхніх елементів: монографія / Д. Г. Гладишев, Г. М. Гладишев. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 304 с.* 6. *Kaminski M., Wroblewski R. Wzmocnienie plaszcz chlodni kominowej. Problemy eksploatacji, remontow i wznoszenia budowlanych obiektow energetycznych. II konferencja naukowo-techniczna “Problemy eksploatacji, remontow i wznoszenia budowlanych obiektow energetycznych”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, 2000.* 7. *Konderla P., Kasprzak T. Badania i ocena bezpieczenstwa chlodni kominowej nr. 2 w Elektrowni Adamow. III konferencja naukowo-techniczna w Szklarskiej Porebie, 26-29 maja 2002 r. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, 2002.* 8. *Persona M. Niekonwencjonalne wzmocnienie uszkodzonych powlok chlodni kominowych. I konferencja naukowo-techniczna “Budownictwo betonowe w energetyce”. Karpacz, 15–17 kwietnia, 1998 r. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, 1998.* 9. *Piotr Konderla. Analiza efektywnosci wzmocnienia hiperboloidalnej chlodni kominowej. Inzynieria i budownictwo. Nr. 2/2005. – S. 95–97.*

VARIANTS OF STRENGTHENING OF SHELLS OF REINFORCED CONCRETE COOLING TOWERS DEPENDING ON CONSTRUCTIONAL FEATURES AND ACTUAL TECHNICAL CONDITION

Ó Hladyshev D., Brodskyy M., 2015

The experience of construction shows that the absolute quality without exception, of all high-rise buildings is almost impossible to achieve. This is confirmed by the analysis of the technical conditions of tall buildings in their thorough inspection. Unfortunately, a thorough examination of such structures is usually not carried out, which can be compared to the following technical conditions of its elements. Therefore, in almost all cases, the inspection results are compared with the “ideal” project condition, provided that the project does not allow defects that caused the damage found during the process of exploitation or inspection of buildings [1]. Serviceability and durability of structures are known to depend not only on the [2], the designer, but also on the manufacturers of materials, construction suppliers, installers, builders and operators.

The choice of the design scheme of buildings is not regulated by any documents. By choosing a particular scheme, designer, thereby determines the level of “safety circuit” of the future building in general, regardless of the serviceability of each element. In cases where the magnitude of possible external loads and actions to set accurately is not possible for some elements of the building, the designer seeks to provide its enhanced its “design reliability”.

A thorough complex inspection of the technical condition of structural elements of existing high-rise buildings is an important area of research, because the very subject of the research is already built. Collection and analysis of survey materials makes it possible to justify the development of more sophisticated design solutions and the choice more rational design schemes of high-rise buildings [3, 4].

The totality of the obtained material will the basis for the development of the clarified payment methods and and as the result - the improvement of the regulations that cover: stages, methods of research, processing of the results, and study, the search of options of possible technical solutions for the design and strengthening of elements of high-rise buildings that will provide long-term and reliable operation [2].

In order to prevent simple overlapping of elements during strengthening and thus create a solid construction, the designer has to imagine the whole picture of the construction and the subsequent operation, and consider various design features and the actual technical condition of this design.

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