

УДК 624.012.82: 725.94

к.т.н., доцент Махиня О.М.,

Tbv_arc@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7167-2857,

Перепеліцин Ю. І., newbox0110@gmail.com , 0000-0002-6427-855X,

Кошева О. В., 2lucky1327@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3527-0786,

Київський національний університет будівництва і архітектури

СУЧАСНІ СПОСОБИ КОНСТРУКТИВНОГО ПІДСИЛЕННЯ СКЛЕПІНЬ І АРОК В УМОВАХ РЕСТАВРАЦІЇ

Розглянуто сучасні способи конструктивного підсилення кам'яних склепінь і арок в умовах реставрації, їх вплив на форму, несучу здатність конструкції, розрахункову схему будівлі, розташування додаткових конструктивних елементів. Було проаналізовані переваги і недоліки кожного способу конструктивного підсилення та надані рекомендації щодо подальшого їх дослідження.

Ключові слова: склепіння, арка, реставрація, конструктивне підсилення.

Постановка проблеми. Руйнування кам'яних конструкцій може бути викликано різноманітними причинами: нерівномірним осіданням фундаменту, зовнішніми впливами, надмірними навантаженнями, пошкодженнями від стихійних лих, через підрубки кладки або перебудови конструкцій в період експлуатації будівлі. Поступове послаблення та накопичення пошкоджень може призвести, не тільки, до руйнування самих конструкцій, а до руйнування будівлі в цілому. Тому вчасне конструктивне підсилення конструкцій дозволить значно підвищити довговічність будівель, що дуже важливо для збереження історичних пам'яток. При цьому сучасні українські нормативи [1] вимагають дотримання принципів найменшого втручання і змін конструкцій та їх реверсивності, що накладає певні обмеження щодо способів конструктивного підсилення кам'яних конструкцій.

З інженерної точки зору конструктивне підсилення кам'яних склепінь (арок) є найбільш складною частиною ремонтно-реставраційних робіт. При цьому прийняті конструктивні рішення досить сильно залежать від технології виконання робіт та від їх впливу на сусідні конструкції. Існує значна різноманітність рішень з підсилення кам'яних склепінь (арок), тому актуальним є вибір оптимального конструктивно-технологічного рішення з врахуванням стану існуючої конструкції і будівлі та особливостей ремонтно-реставраційних робіт.

Аналіз попередніх наукових досліджень. Питаннями теорії і практики реставрації займалися Алтухова А.С., Антонюк А.Є., Балдін В.І., Бартоломей

А.А., Бессонов Г.Б. [2], Говденко М.М., Грабар І.Е., Граужис О.О., Гроздов В.Т. [3], Давид Л.А., Дорофієнко І.П. [4], Зворикін М.П., Коренюк Ю.І., Лопушинська Є.І., Михайловський Є.В. [5], Орленко М.І., Осипов О.Ф., Под'япольський С.С. [6], Покришкін І.І., Раппопорт П.А., Селіванова Н.Б., Стріленко Ю.М., Шевченко В.П., а також S. Cantacuzino, F. Lissi [7], E. Malachowicz, R. Salvini, M. Pazdzior. В своїх публікаціях вони висвітлили реставраційні принципи і методики та окремі конструктивно-технологічні рішення реставрації будівель.

Виклад основного матеріалу. Під конструктивним підсиленням в умовах реставрації в даній статті розуміють, як відновлення, підтримування чи підсилення функцій конструктивних елементів історичних будівель [2]. Всі сучасні способи конструктивного підсилення склепінь (арок) поділяють на групи (табл. 1) [8]:

- повна чи часткова заміна конструкції;
- відновлення несучої спроможності конструкції;
- влаштування додаткових конструкцій підсилення;
- підсилення розпірних систем.

Крім того в реставраційній практиці застосовують різноманітні комбінації вище названих способів, що не були предметом дослідження даної статті.

Повну чи часткову заміну існуючої кладки склепінь (арок) виконують у випадку значного їх руйнування від вивітрювання розчину чи втратою ним експлуатаційних властивостей, руйнуванням чи деструкцією кам'яних матеріалів, значним порушенням структури мурування. При цьому заміну існуючої кладки можуть виконувати за автентичною технологією із використанням аналогічних матеріалів [2, 5, 6], або із застосуванням сучасних технологій і матеріалів [2, 6]. Цей спосіб (табл. 1) дозволяє відновити та збільшити несучу здатність конструкції, не змінюючи розрахункової схеми будівлі, з максимальним наближенням конструкції до її історичної форми, додаткові конструктивні елементи в даному випадку не застосовують. До переваг цього способу (табл. 2) необхідно віднести збереження зовнішнього вигляду конструкції, з частковим збереженням автентичного виконання; відновлення конструктивної схеми будівлі із забезпеченням збереження будівлі в цілому. Недоліками способу є втрата конструкцією своєї автентичності, необхідність застосування тимчасового підсилення сусідніх та опорних конструкцій, що збільшує вартість виконання робіт, при цьому можливе порушення встановленої рівноваги конструктивних елементів. При застосуванні сучасних матеріалів можлива деструктивна взаємодія існуючих матеріалів з новими.

Таблиця 1

Способи конструктивного підсилення склепінь і арок в умовах реставрації

| Спосіб підсилення склепіння чи арки | | Вплив на несучу спроможність та на розрахункову схему | Вплив на геометричну форму склепіння (арки) | Розташування додаткових конструктивних елементів |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Група | Вид | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |
| Повна чи часткова заміна | Перекладання конструкції за автентичною технологією | Відновлення без зміни розрахункової схеми | Відновлення | Не застосовують |
| | Зведення за сучасними конструктивно-технологічними рішеннями | Збільшення без зміни розрахункової схеми | | Відкрите розташування |
| Відновлення несучої спроможності | Ін'єктування (просочування) масиву кладки | Відновлення без зміни розрахункової схеми | Стабілізація | Не застосовують |
| | Розклинювання розкритих швів | | Відновлення | |
| | Видавлювання деформованих конструкцій | | | |
| | Ін'єктування з додатковим армуванням масиву кладки | Збільшення без зміни розрахункової схеми | Приховане розташування | |
| Влаштування додаткових конструкцій підсилення | Підвішування до додаткових конструкцій | Відновлення чи збільшення зі зміною розрахункової схеми | Стабілізація | Відкрите над склепінням чи аркою |
| | Розвантаження за допомогою додаткових конструкцій | | | Відкрите під склепінням чи аркою |
| | Нарощування конструкції зверху | | | Відкрите над склепінням чи аркою |
| | Нарощування конструкції знизу | | | Відкрите під склепінням чи аркою |
| Підсилення розпірних систем | Відновлення та влаштування нових стабілізуючих, підтримуючих та розпірних конструкцій | Відновлення зі зміною розрахункової схеми | Стабілізація існуючої форми | Найчастіше відкрите розташування |

Відновлення несучої спроможності склепіння чи арки полягає у відновленні монолітності і форми існуючої конструкції та покращені її фізико-механічних властивостей шляхом заповнення порожнин спеціальними розчинами з можливим додатковим армуванням та поверненням до історичної форми склепіння (арки).

Це може бути виконано (табл. 1) шляхом ін'єктування [2, 4-7], шпарування [2, 4] чи просочування кам'яної кладки, в окремих випадках, із застосуванням додаткового армування [6, 7] При деформаціях склепіння чи арки (прогинів, провисань, викривлень чи хвилеподібних деформацій) можливе відновлення їх форми шляхом видавлювання деформованих конструкцій із зашпаруванням швів [2, 6], а в окремих випадках, шляхом розклинювання розкритих швів з наступним їх шпаруванням [2, 6]. Цей спосіб застосовують при достатній міцності та стійкості опорних конструкцій склепінь, коли вони складені з пористих природних чи штучних матеріалів. При цьому відновлюють несучу здатність конструкції, не змінюючи розрахункової схеми будівлі; форму склепіння (арки) стабілізують чи наближують до історичної форми; додаткові елементи використовують у вигляді прихованого армування.

До переваг способу необхідно віднести (табл. 2) усунення тріщиноутворення та розшарування кладки, підвищення опору до поперечних зсувів; збереження автентичності конструкції; стабілізація та відновлення існуючої форми конструкції. Основним недоліком є те, що не змінюється характер роботи висячих зон, тобто, вони утримуються від падіння лише за рахунок зчеплення розчину, крім того, при застосуванні сучасних матеріалів можлива деструктивна взаємодія існуючих матеріалів з новими. Крім того, у випадку примусової зміни форми конструкції (розклинювання чи видавлювання) ускладнюється технологія та збільшується трудомісткість виконання робіт, а при видавлюванні необхідне додаткове спеціалізоване обладнання.

Таблиця 2

Порівняння основних способів конструктивного підсилення склепінь і арок в умовах реставрації

| Спосіб підсилення | | Переваги | Недоліки |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Група | Вид | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Повна чи часткова заміна | Перекладання конструкції за автентичною технологією | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Збереження зовнішнього вигляду конструкції. ▪ Часткове збереження автентичного виконання. ▪ Відновлення конструктивної схеми будівлі із забезпеченням збереження будівлі в цілому | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Необхідність у застосуванні тимчасового підсилення сусідніх та опорних конструкцій |

| | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Зведення за сучасними конструктивно-технологічними рішеннями | <ul style="list-style-type: none"> Відновлення та збільшення несучої здатності. Збереження сусідніх конструкцій та будівлі в цілому | <ul style="list-style-type: none"> Необхідність у застосуванні тимчасового підсилення сусідніх та опорних конструкцій Імітація і втрата автентичності конструкцією Можлива деструктивна взаємодія існуючих конструкцій з новими матеріалами |
| Відновлення несучої спроможності | Ін'єктування тріщин, швів і порожнин | <ul style="list-style-type: none"> Збереження автентичності. Збереження зовнішніх опоряджувальних шарів та елементів декору | <ul style="list-style-type: none"> Не змінюється характер роботи висячих зон. Можливе руйнування кладки за рахунок ефекту розклинювання. Можливе руйнування фресок за рахунок видавлювання розчину. |
| | Розклинювання розкритих швів з наступним їх шпаруванням | | |
| | Видавлювання деформованих конструкцій із зашпаруванням швів | <ul style="list-style-type: none"> Усунення тріщиноутворення та розшарування кладки. Підвищення опору до поперечних зсувів. | <ul style="list-style-type: none"> Ускладнюється технологія та збільшується трудомісткість виконання робіт при відновленні форми конструкції. Необхідність у додатковому спеціалізованому обладнанні. |
| | Армування кладки із ін'єктуванням свердловин | <ul style="list-style-type: none"> Такі самі переваги, як у попередньому рядку Підвищення опору до розтягуючих та згинаючих зусиль | <ul style="list-style-type: none"> Такі самі недоліки, як у попередньому рядку Необхідність у використанні корозійностійких арматурних елементів. Можлива деструктивна взаємодія існуючих конструкцій з новими полімерними матеріалами |
| Влаштування додаткових конструкцій підсилення | Підвішування до додаткових конструкцій | <ul style="list-style-type: none"> Збереження автентичності конструкції та розпірної системи в цілому. Збереження зовнішніх опоряджувальних шарів та елементів декору | <ul style="list-style-type: none"> Потреба у стійкому опорному контурі. Технологічна складність та трудомісткість робіт. |
| | Розвантаження за допомогою додаткових конструкцій | | |

| | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Нарощування конструкції зверху | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Такі самі недоліки, як у попередньому рядку ▪ Змінюється зовнішній вигляд конструкції. |
| | Нарощування конструкції знизу | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Збереження автентичності конструкції та розпірної в цілому | <ul style="list-style-type: none"> ▪ При застосуванні полімерних матеріалів можлива їх несумісність із історичними матеріалами |
| Підсилення розпірних систем | Відновлення та влаштування нових стабілізуючих, підтримуючих та розпірних конструкцій | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Стабілізація існуючої форми конструкції та будівлі в цілому. ▪ Збереження автентичності конструкції. ▪ Збереження зовнішніх опоряджувальних шарів та елементів декору. ▪ Збереження для подальшого дослідження склепіння чи арки. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Змінюється зовнішній вигляд будівлі в цілому. ▪ Зменшення внутрішнього простору в будівлі та збільшення зовнішніх габаритів будівлі. ▪ Можливе порушення стійкості конструкцій і будівлі в цілому, за рахунок зміни розрахункової схеми. |

Влаштування додаткових конструкцій підсилення склепінь чи арок дозволяє зменшити навантаження на існуючу конструкцію та перерозподілити його на більш стійкі частини чи інші конструкції. Цей спосіб характеризують значна різноманітність технологічних прийомів, режимів і регламенту виконання робіт. При цьому (табл. 1) відновлюється чи збільшується несуча здатність склепіння (арки) та змінюється розрахункова схема. Додаткові конструктивні елементи можуть бути приховані чи відкриті.

Підвішування арки (склепіння) полягає в тому, що пошкоджену конструкцію додатково прикріплюють до вище розташованих конструкцій чи їх частин. Наприклад: до вище розташованої кладки за допомогою анкерів або за допомогою підвісів до додатково зведених конструкцій (балок, арок, тощо) [2,6].

Розвантаження деформованих склепінь (арок) використовують у випадках, коли виникають недопустимі напруження в кам'яній кладці, що деформують склепіння, при цьому немає можливості їх нейтралізувати за рахунок збільшення жорсткості опорного контуру. Розвантаження виконують за допомогою розподільчих елементів, що передають надлишкові навантаження на стійкі зони опорних конструкцій [2, 6].

Нарощування склепіння (арки) зверху чи знизу полягає в тому, що переріз конструкції збільшують за рахунок додаткових конструктивних елементів:

- залізобетонних (бетонних) монолітних чи збірних конструкцій;

- армоцементних чи металевих конструкцій;
- конструкцій із застосуванням композитної арматури [2, 6].

До переваг способу необхідно віднести (табл. 2) збереження автентичної конструкції та розпірних конструкцій в цілому та збереження зовнішніх опоряджувальних шарів. Серед недоліків (табл. 2) необхідно назвати:

- технологічну складність та трудомісткість влаштування додаткових конструкцій;
- необхідність використання додаткових допоміжних конструкцій (опалубок, елементів тимчасового підсилення);
- потреба у міцних та стійких сусідніх конструкціях, що дозволяють сприйняти додаткове навантаження;
- при застосуванні полімерних матеріалів можлива їх несумісність із історичними матеріалами.

Підсилення розпірних систем використовують за умови значних їх руйнувань чи деформацій (зміщення у вертикальному, горизонтальному чи комбінованому напрямках), подальший розвиток який може спричинити руйнування склепіння чи арки. Цей спосіб полягає у відновленні та влаштуванні нових підтримуючих чи стабілізуючих конструкцій: в'язів, поясів, бандажів, розпірних балок чи ферм, підпірок, пілонів, контрфорсів, аркбутанів, тощо [2, 3, 6]. Безпосереднє підсилення склепінь чи арок в даному способі не передбачається.

Підсилення розпірних систем характеризується значною різноманітністю конструктивно-технологічних рішень, технологічних способів, параметрів і режимів виконання. Цей спосіб (табл. 1) дозволяє стабілізувати існуючу форму склепіння чи арки з відновленням їх несучої здатності. До переваг способу необхідно віднести (табл. 2): збереження автентичності конструкції та зовнішніх опоряджувальних шарів, з можливістю їх подальшого дослідження. Його недоліками можуть бути (табл. 2):

- зміна зовнішнього вигляду будівлі в цілому, при зменшенні внутрішнього простору та збільшенні зовнішніх габаритів;
- при не повному врахуванні всіх негативних факторів можливе порушення стійкості конструкцій будівлі за рахунок зміни розрахункової схеми.

Висновки та рекомендації. Розглянуті способи конструктивного підсилення склепінь і арок мають ряд переваг і недоліків. Загалом можна відмітити відсутність єдиного способу підсилення, який дозволяв би зберегти автентичну конструкцію із дотриманням принципів найменшого втручання і змін конструкцій, при забезпеченні її необхідної несучої здатності. Крім того, досвід реставрації показує, що ефективність тих чи інших способів

конструктивного підсилення залежить від багатьох факторів, а тому механічне перенесення конструктивно-технологічних рішень з одного об'єкту на інший може дати зовсім протилежний ефект, замість збереження конструкції - її повне руйнування. Різноманітність конструктивних рішень і способів виконання робіт з реставрації склепінь та арок вимагає:

- дослідження факторів, що впливають на вибір способів конструктивного підсилення та прийняття конструктивно-технологічних рішень;
- більш глибоке дослідження різних способів конструктивного підсилення та їх комбінацій, з метою уточнення областей їх застосування;
- дослідження та розробка нових конструктивно-технологічних рішень підсилення конструкцій;
- удосконалення методики вибору конструктивно-технологічних рішень конструктивного підсилення склепінь і арок.

Список використаних джерел.

1. ДБН В.3.2-1-2004. Реконструкція, ремонт, реставрація об'єктів невиробничої сфери. Реставраційні, консерваційні та ремонтні роботи на пам'ятках культурної спадщини – К: Держбуд України, 2005 – 123с.
2. Бессонов Г.Б. Исследование деформаций, расчет несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем. Методические рекомендации. М: Об. «Союзреставрация», об. «Росреставрация» - 180 с.
3. Гроздов В.Т. Усиление строительных конструкций при реставрации зданий и сооружений. — СПб, 2005. — 114 с.
4. Консервація і реставрація пам'яток архітектури. Методичний посібник. Дорофійенко І., Кравченко О., Литвин О., Марампольский А та ін. – Київ-Львів: Корпорація УКРРЕСТАВРАЦІЯ, Інститут УКРЗАХІДПРОЕКТРЕСТАВРАЦІЯ, 1996. – 587 с.
5. Михайловский Е.В. Методика реставрации памятников архитектуры/ Под общ. ред. Е.В. Михайловского. – М.: Стройиздат, 1977. – 168 с.
6. Реставрация памятников архитектуры: Учеб. пособие для вузов / [С.С. Подъяпольский, Г.Б. Бессонов, Л.А. Беляев, Т.М. Постникова; Под общ. ред. С.С. Подъяпольского] 2-е изд. – М. : Стройиздат, 2000. – 288 с.
7. Fernando Lizzi. Il consolidamento del terreno e dei fabbricati Copertina flessibile. Cause dei dissesti, criteri d'intervento casistica. – Dario Flaccovio Editore, 1989. – 156 p.
8. ДБН В.3.1-1-2002. Експлуатація конструкцій та інженерного обладнання будівель і споруд та систем життєзабезпечення. Ремонт і

підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд – К: Державний комітет України з будівництва і архітектури, 2003. – 168 с.

к.т.н., доц. Махиня А.Н.,
Перепелицин Ю.И., Кошева О.В.

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ КОНСТРУКТИВНОГО УСИЛЕНИЯ СВОДОВ И АРОК В УСЛОВИЯХ РЕСТАВРАЦИИ

В статье рассмотрены современные способы конструктивного усиления каменных сводов и арок в условиях реставрации, их влияние на форму, несущую способность, расчетную схему здания, размещение дополнительных конструктивных элементов. Были проанализированы преимущества и недостатки каждого способа конструктивного усиления и даны рекомендации по их последующим исследованиям.

Ключевые слова: свод, арка реставрация, конструктивное усиление.

Oleksandr Makhynia, Ph.D., Associate Professor ,
Iurii Perepelitsyn, Oksana Kosheva,
Kyiv National University of Construction and Architecture

THE MODERN METHODS OF CONSTRUCTIVE STRENGTHENING OF THE VAULTS AND ARCHES IN THE CONDITIONS OF RESTORATION

The modern methods of constructive strengthening of the stone vaults and arches in the conditions of restoration; their influence on a configuration, carrying capacity, calculating scheme of a building and placing the additional constructive elements were considered in this article. The advantages and disadvantages of each methods of the constructive strengthening were analyzed and given recommendations for their subsequent applying.

Keywords: vault, arch, restoration, constructive strengthening.