

УДК 69.059.25:725.94

Черненко Віталій Костянтинович

Доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою технології будівельного виробництва

Осипов Сергій Олександрович

Кандидат технічних наук, асистент кафедри технології будівельного виробництва

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ПІД ЧАС РЕСТАВРАЦІЇ АРКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ І СКЛЕПІНЬ ПАМ'ЯТОК АРХІТЕКТУРИ

***Анотація.** Розглянуто актуальну науково-прикладну проблему – підвищення основних техніко-економічних показників технологічних процесів під час реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури. Розроблені методи реставрації аркових конструкцій і склепінь, представлені у вигляді науково обґрунтованої системи, що дозволяє вибирати із множини можливих варіантів раціональні методи залежно від виду реставрації, категорії міцності і стійкості розпірних конструкцій при гарантованому забезпеченні архітектурно-історичної ідентичності конструкцій та пам'яток архітектури в цілому.*

Ключові слова: технологічні процеси реставрації, реставрація, методи реставрації аркових конструкцій та склепінь

***Аннотация.** Рассмотрена актуальная научно-прикладная проблема – повышение основных технико-экономических показателей технологических процессов при реставрации арочных конструкций и сводов памятников архитектуры. Разработаны методы реставрации арочных конструкций и сводов, представленные в виде научно обоснованной системы, позволяющей выбрать из множества возможных вариантов рациональные методы в зависимости от вида реставрации, категории прочности и устойчивости распорных конструкций при гарантированном обеспечении архитектурно-исторической идентичности конструкций и памятника архитектуры в целом.*

Ключевые слова: технологические процессы реставрации, методы реставрации арочных конструкций и сводов

***Annotation.** Article is sanctified to the decision of the pressing scientifically-applied problem question are increases of basic technical and economic indexes of technological processes during restoration of the arched constructions and vaults of monuments of architecture. The methods of restoration of the arched constructions and vaults of monuments are worked out architectures that is first presented as a scientifically reasonable system, allows to choose from the great number of possible variants rational methods depending on the type of restoration, categories of durability and stability of arching constructions at the assured providing of their architectonically-historical identity and monuments of architecture on the whole. The system of methods is formed as difficult open system, consisting of three subsystems, is the system of methods for restoration of stone pillar, arches and vaults. For each of subsystems of methods of restoration the corresponding subsystems of rational technological and structural decisions are reasonable. The got results are taken to the level of practical application – the substantive provisions of engineering methodology of choice of rational technology of restoration of the arched constructions and vaults of monuments of architecture are worked out. Results of scientific positions and conclusions are in theory reasonable, confirmed by analytical calculations and inculcated at planning and implementation of restoration works in Kyiv.*

Keywords: technological processes of restoration, methods of restoration of arched constructions and vaults

Постановка проблеми

Реставрація пам'яток архітектури є однією з найважливіших складових захисту та збереження історичної та культурної спадщини України, вона має величезне значення для історії архітектури і будівельного мистецтва. Пам'ятка архітектури являє собою науковий документ, всебічне вивчення якого дозволяє встановити прийоми і техніку виконання будівельних процесів у минулому, а також оцінити основні напрямки і тенденції їх розвитку та вдосконалення. Нині в Україні близько 16 800 пам'яток архітектури. З них понад 4 000 – національного значення, 60% яких знаходиться у незадовільному стані, та понад 10% – у аварійному. Таким чином, прогнозовані обсяги реставрації пам'яток архітектури в Україні можна оцінити як великомасштабні.

До числа найвідповідальніших і трудомістких процесів належать будівельні процеси, що виконуються під час реставрації аркових конструкцій і склепінь – несучого остову пам'ятника архітектури.

Стаття відповідає одному із напрямів розвитку будівельної галузі – реставрації пам'яток архітектури (Державна програма «Паспортизація, інвентаризація та реставрація пам'яток культурної спадщини», постанова КМ України № 1330 від 9 вересня 2002 року) та спрямована на розвиток будівельної галузі за рахунок підвищення ефективності будівельно-монтажних робіт в умовах реставрації пам'яток архітектури. Напрямок досліджень відповідає тематичній спрямованості розробок, які виконують на кафедрі технології будівельного виробництва Київського національного університету будівництва і архітектури у галузі будівництва, реконструкції та реставрації будинків і споруд, що належать до паспорту спеціальності 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва».

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Різні аспекти поставленого проблемного питання раніше були висвітлені в роботах: Л. А. Беляєва [1], І. Е. Грабаря [2], В. Н. Кутукова, С. С. Под'япольського [3], П. П. Покришкіна [4], С. В. Прохоркіна. Сьогодні питання удосконалення технології і організації реконструкції та ремонту будинків і споруд, обґрунтування методів виконання та механізації будівельних процесів, у тому числі в умовах реставрації пам'яток архітектури, набули подальшого розвитку в роботах: В. Я. Бабиченко, А. М. Березюка, А. І. Білоконя, Д. Ф. Гончаренко, В. М. Киринос, О. М. Лівінського [5], О. І. Менейлюка [6], А. В. Радкевича [7], В. В. Савйовського, В. І. Снісаренко, Р. Б. Тяна,

С. А. Ушацького, В. К. Черненко [8], В. Т. Шаленного, В. О. Галушко, В. Д. Жвана, М. І. Котляра, Є. Г. Романушко [9], та в роботах інших вчених України та світу.

Мета статті

Метою дослідження є підвищення ефективності технології реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури на основі дослідження та обґрунтування системи раціональних методів, що враховують архітектурно-історичну цінність аркових конструкцій і склепінь, їх основні будівельно-технологічні характеристики і технічний стан, а також вид реставрації та умови виконання будівельно-монтажних реставраційних робіт.

Досягнення поставленої мети здійснюється на основі розв'язання **основних задач**:

- аналізу сучасного стану і наукових досліджень в області технології реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури;
- дослідження факторів, що впливають на вибір раціональних методів реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури;
- дослідження і обґрунтування раціональних методів реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури;
- розробки основних положень методики вибору раціональної технології реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури.

Основний матеріал

Дослідження факторів здійснено за розробленою методикою [10], яка складається з трьох етапів.

На першому етапі на основі аналізу та систематизації умов виконання будівельно-монтажних робіт під час реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури, будівельно-технологічних характеристик аркових конструкцій та склепінь формується загальна сукупність факторів впливу.

На другому етапі на основі експертного опитування встановлюється рівень значущості сформованих груп факторів.

На третьому етапі виконується статистичний аналіз факторів, які мають найбільший вплив на параметри технології реставрації аркових конструкцій та склепінь пам'яток архітектури.

Формування загальної сукупності факторів впливу здійснено послідовним вирішенням завдань:

- 1) формування вихідної сукупності груп факторів впливу на основі здійсненого експертного опитування «збирання думок»;
- 2) аналіз та систематизація умов реставрації пам'ятників архітектури;

3) формування загальної сукупності факторів впливу з її декомпозицією на групи та підгрупи факторів. Дослідження факторів здійснено на спеціально відібраних об'єктах-представниках із 36-ти найменувань, які являють собою випадкову вибірку та представляють центральні, південні, східні та західні ареали архітектурно-історичної спадщини України.

Виявлені фактори подано такими групами: архітектурно-історична цінність аркових конструкцій та склепінь – розпірних конструкцій (*A – фактори*); вид реставрації пам'ятника архітектури (*B – фактори*); будівельно-технологічні характеристики пам'ятника архітектури (*C – фактори*); будівельно-технологічні характеристики розпірних конструкцій (*D – фактори*); технологічні фактори (*E – фактори*); організаційні умови і обмеження (*F – фактори*).

На другому етапі встановлюється рівень значущості сформованих груп факторів на основі експертного опитування. Експертне опитування виконано за стандартними методиками та здійснене із застосуванням двоетапної схеми експертної оцінки.

Спочатку досліджувалась значущість основних груп факторів (*A, B, C, D, E* і *F – фактори*), при цьому встановлено (рис. 1), що на вибір технології реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'ятників архітектури впливають (наведені відповідно до рангу): 1) архітектурно-історична цінність аркових конструкцій та склепінь (*A*, сума рангів 48,5); 2) будівельно-технологічні характеристики розпірних конструкцій (*D*, сума рангів 75); 3) вид реставрації пам'ятника архітектури (*B*, сума рангів 77,5); 4) будівельно-технологічні характеристики пам'ятника архітектури (*C*, сума рангів 88,5); 5) технологічні фактори (*E*, сума рангів 98,5). Вплив організаційних умов та обмежень (*F*, сума рангів 116) на питання, що досліджується, несуттєвий.

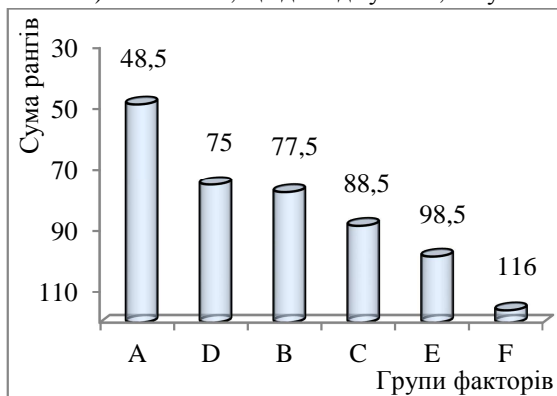


Рис. 1. Діаграма рангів

На другому етапі експертного опитування досліджувалась значущість підгруп факторів та факторів за складовими підгруп, що дозволило встановити значущість впливу всієї сукупності факторів, їх підгруп та груп на вибір раціональних

методів реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури.

На третьому етапі виконується статистичний аналіз факторів, які мають найбільший вплив на параметри технології реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури – будівельно-технологічних характеристик аркових конструкцій і склепінь (*D – фактори*).

Дослідження будівельно-технологічних характеристик виконано на основі вихідних даних, зібраних на об'єктах-представниках, які являють собою сукупність об'єктів – пам'яток архітектури – різних періодів будівництва, призначення, технічного стану і характеру сучасного використання. Це пам'ятки архітектури культового (храми), оборонного (фортеці і замки), світського (садиби) та військового призначення, що охоплюють історичні періоди з XI по XX століття. Об'єкти-представники, із 36 найменувань, підібрані таким чином, що вони представляють центральні, східні, південні і західні ареали архітектурно-історичної спадщини України.

Незважаючи на різноманітність обстежених пам'яток архітектури за призначенням і періодами будівництва, всі вони мають подібні будівельно-технологічні характеристики розпірних систем – це аркади, склепінчасті перекриття і покриття, кам'яні стовпи, які за своєю конструктивною схемою характеризуються переважно як багатопрольотні розрізні арочно-стоїчні системи.

Основними видами арочно-стоїчних систем є одно- і багатопрольотні підпругні арки склепінь (58% із всієї сукупності), арки дверних і віконних прорізів (34%) і одно- або багатоярусні аркади (8%). Арково-стоїчні системи представлені переважно півциркульними (63%), коробовими (14%), лучковими (12%) і стрілчастими (11%) арками. Цегляні арки виконані висотою перерізу в півтори – дві цегли (6%) або в одну (27%), пів цеглини (6%). Кам'яні арки виконані, як правило, висотою перерізу в половину, або один камінь. Основні види склепінь (рис. 2): циліндричний (ЦЛ); хрестовий (ХР); купольний (КП); лотковий (ЛО); зімкнутий (ЗМ); шатровий (ША).

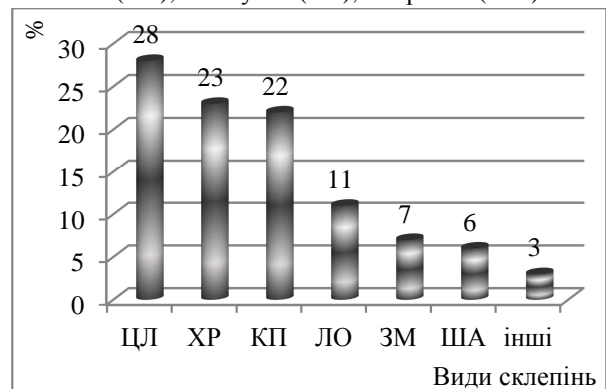


Рис. 2. Розподіл склепінь за видами

Виконані дослідження будівельно-технологічних характеристик аркових конструкцій і склепінь (включаючи особливості їх статичної роботи і напружено-деформованого стану), а також характерних дефектів та пошкоджень дозволило розробити класифікацію аркових конструкцій і склепінь за категорією їх міцності і стійкості залежно від ступеня ослаблення просторової стійкості, а також ступеня пошкодження масиву кам'яної кладки (стовпів, арок, склепінь) і їх загального технічного стану (табл. 1). Розподіл розпірних конструкцій за категорією міцності і стійкості наведено на рис. 3.

Дослідження та обґрунтування раціональних методів реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури базується на принципі – технологія реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури повинна забезпечувати високопродуктивне виконання всього комплексу будівельно-монтажних реставраційних робіт при одночасному гарантованому забезпеченні архітектурно-історичної ідентичності об'єкта реставрації, а також міцності і стійкості розпірних конструкцій і всього пам'ятника архітектури.

Вищенаведений принцип реалізується послідовним дослідженням та обґрунтуванням, що складається з етапів:

1. Систематизація та узагальнення будівельно-технологічних характеристик і умов виконання робіт під час реставрації аркових конструкцій і склепінь, і на їх основі встановлення системи метод-утворюючих ознак, що описують особливості реставрації пам'яток архітектури, будівельно-технологічні характеристики арок і склепінь, їх технічний стан та характерні пошкодження і дефекти;

2. Дослідження та обґрунтування раціональних методів реставрації аркових конструкцій і склепінь на основі виділеної системи метод-утворюючих ознак, що враховує умови реставрації, необхідність збереження архітектурно-історичної ідентичності об'єктів реставрації, а також особливості технічного стану, наявність характерних дефектів;

3. Дослідження та обґрунтування раціональних конструктивних і технологічних рішень та технологічних параметрів під час реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури для обґрунтованих груп методів.

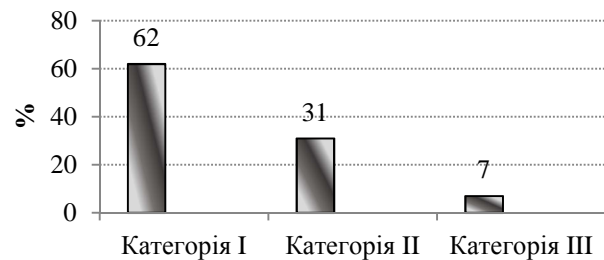


Рис. 3. Розподіл розпірних конструкцій пам'яток архітектури за категоріями міцності і стійкості

Перший етап. Обґрунтування системи метод-утворюючих ознак здійснюється шляхом системного аналізу та узагальнення будівельно-технологічних характеристик, взятих з обґрунтованої групи об'єктів-представників, на основі виявлення характерних ознак, що описують вид, конструктивне рішення і технічний стан, техніку і технологію кам'яної кладки склепінь і арок (при їх первинному зведенні), вид та характер пошкоджень та дефектів, а також особливості об'ємно-планувального і конструктивного рішення пам'ятки архітектури, умов виконання будівельно-монтажних реставраційних робіт.

Таблиця 1

Класифікація розпірних конструкцій за категорією міцності й стійкості

Категорія міцності й стійкості розпірної конструкції	Критерій ↓	Якісна ознака	Критерій ↓	Кількісний показник	Критерій ↓	Кількісний показник
	Ступінь ослаблення просторової міцності й стійкості конструкції		Технічний стан конструкції	Фізичне зношення, %	Ступінь пошкодження кам'яної кладки	Зниження несучої здатності, %
I категорія (міцна і стійка)	Незначний	Відсутні пошкодження	Добре й задовільне	до 40	Слабке	до 15
II категорія (недостатньо міцна і стійка)	Середній	Окремі пошкодження несистематичного характеру	Незадовільне	41-60	Середнє	до 25
III категорія (неміцна і нестійка)	Суттєвий	Систематичні пошкодження	Аварійне	61 і вище	Сильне	до 50

В якості головних ознак прийняти:

A-ознака. Вид реставрації пам'ятника архітектури: (a_1) – аналітична реставрація; (a_2) – синтетична реставрація; (a_3) – реставрація з пристосуванням; (a_4) – консервація;

B-ознака. Архітектурно-історична цінність: (b_1) – наявність цінних фресок, мозаїк, ліпнини, розписів; (b_2) – унікальність, оригінальність конструктивного виконання; (b_3) – історична цінність розпірних конструкцій і будівлі в цілому;

C-ознака. Вид і конструктивне виконання розпірних конструкцій: (c_1) – вид (тип) склепіння, арочної конструкції; (c_2) – кількість ярусів (одноярусні, багатоярусні аркади, склепіння); (c_3) – конструктивне виконання та особливості техніки і технології кладки аркових конструкцій і склепінь; (c_4) – конструктивна схема і особливості статичної роботи; (c_5) – особливості поточного напружено-деформованого стану; (c_6) – вид опорних закріплень (шарнірно-рухома опора, шарнірно-нерухома опора, жорстке заземлення); (c_7) – масивність конструкції; (c_8) – матеріал конструкції;

D-ознака. Технічний стан: (d_1) – характер і ступінь пошкодження, руйнування аркових конструкцій і склепінь; (d_2) – стан опорних конструкцій; (d_3) – стан матеріалу (каменю, цегли, розчину, зв'язків) аркових конструкцій – його міцність, ступінь корозії і механічного пошкодження; (d_4) – загальний технічний стан, наявність раніше виконаної реставрації, консервації, реконструкції, ремонту та інших видів втручання в пам'ятник архітектури.

Другий етап. Дослідження та обґрунтування раціональних методів реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури здійснюється на основі виділеної системи метод-утворюючих ознак. Сукупність можливих методів реставрації аркових конструкцій і склепінь можна представити у вигляді n -мірного векторного простору:

$$\begin{cases} A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}, \\ B = \{b_1, b_2, b_3\}, \\ C = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8\}, \\ D = \{d_1, d_2, d_3, d_4\}. \end{cases} \quad (1)$$

Комбінація метод-утворюючих ознак формує той або інший метод реставрації аркових конструкцій і склепінь.

Дослідження та обґрунтування раціональних методів здійснюється для основних конструктивних елементів розпірних конструкцій, виконаних з кам'яної кладки з використанням штучних і природних кам'яних матеріалів: 1) стовпів аркових конструкцій і склепінь; 2) арок аркад, прорізів і склепінь (підпружні арки); 3) склепінь.

Формування раціональних методів реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури

[10] здійснюється як процес синтезу рішень, що складається з послідовних процедур упорядкування вихідної системи методів за допомогою метод-утворюючих ознак (рис. 4), а саме:

1) упорядкування вихідної системи методів на групи методів, що реалізують *головну функцію реставрації* (відновлення, відтворення і т.п.);

2) упорядкування на підгрупи методів, які розкривають *сутність процесів і явищ*, що лежать в основі перетворення матеріальних елементів у будівельну продукцію (перетворення в комплексну конструкцію, зміна фізико-механічних властивостей і т.п.);

3) упорядкування на методи *за технологічними ознаками* (заміщення забутки монолітним бетоном, підведенням збірної залізобетонної оболонки і т.п.).

На етапах формування *B*-системи (підгрупи методів) і *C, D*-систем (методи) вводяться нові структурні елементи (підгрупи і методи), які мають функціональне, конструктивне і технологічне обґрунтування, а у міру розвитку науки і техніки структура *B*-системи і *C, D*-систем може доповнюватися новими перспективними елементами. Таким чином, система методів реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури формується як відкрита система, що розвивається.

Залежно від виду реставрації пам'ятника архітектури (упорядкування за *A-ознакою*) рекомендуються такі групи методів реставрації аркових конструкцій і склепінь:

I. Відновлення конструкцій (аналітична реставрація);

II. Відтворення конструкцій (синтетична реставрація);

III. Підсилення з відновленням конструкцій (реставрація з пристосуванням);

IV. Консервація конструкцій (консервація).

Відповідні групи методів складаються з упорядкованих підгруп методів, які враховують вид конструкції, що реставрується. Наприклад, у табл. 2 наведена структура підгруп методів для умов реставрації кам'яних стовпів. Кожна окрема підгрупа складається із сукупності методів, що задовольняють умови *C, D-ознак*, наприклад, альфа-підгрупа методів «А. Перетворення в комплексний переріз» складається з двох підгруп, перша підгрупа – « $\alpha 1$ – заміщення частини матеріалу стовпа», друга – « $\alpha 2$ – зовнішнє армування (обойми, сорочки)».

Сутність першої підгрупи методів ($\alpha 1$) полягає в заміщенні частини матеріалу стовпа іншим, більш міцним матеріалом з перетворенням кам'яної кладки в комплексну. При цьому в середній частині масиву стовпа створюється монолітний ($\alpha 1.1$), збірний ($\alpha 1.2 \dots \alpha 1.3$) або металевий ($\alpha 1.4$) сердечник (стрижень), здатний сприймати додаткові

навантаження або істотно збільшити несучу здатність конструкції. У складі цієї підгрупи ($\alpha 1$) є різні методи, що відрізняються технологічною структурою і режимами виконання будівельних процесів, застосовуваними засобами механізації, використовуваними матеріалами і конструкціями, а також конструктивним рішенням комплексного перерізу.

Сутність другої підгрупи методів ($\alpha 2$) полягає у створенні комплексного перерізу шляхом зовнішнього армування конструкції кам'яних стовпів і дозволяє відновити або підвищити їх несучу здатність. До складу цієї підгрупи входять різні методи влаштуванням обойм – металевих ($\alpha 2.1$), залізобетонних та фібробетонних ($\alpha 2.2$), армоцементних ($\alpha 2.3$), обойм з використанням вуглецевих стрічок-хомутів ($\alpha 2.4$) і текстильних матеріалів ($\alpha 2.5$).

Ці методи також відрізняються технологічною структурою та іншими параметрами будівельного процесу, використовуваними матеріалами і ступенем можливого відновлення або підсилення. В цілому дану підгрупу методів (А. Перетворення у

комплексний переріз) доцільно використовувати у разі пошкодження стовпів, які характеризуються як середні і сильні – відповідно II і III категорії міцності і стійкості розпірних конструкцій.

За подібною схемою упорядковані підгрупи методів для реставрації арок та склепінь пам'яток архітектури з встановленням сфери раціонального використання кожної підгрупи та окремого методу.

Таким чином, результатом другого етапу дослідження є науково обгрунтована система методів реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури, застосування якої гарантовано забезпечує збереження і надійну подальшу експлуатацію пам'ятки архітектури.

Третій етап. Дослідження та обгрунтування раціональних конструктивних і технологічних рішень, організаційно-технологічних моделей та параметрів комплексно-механізованого виконання будівельно-монтажних робіт під час реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури для обгрунтованих груп методів.

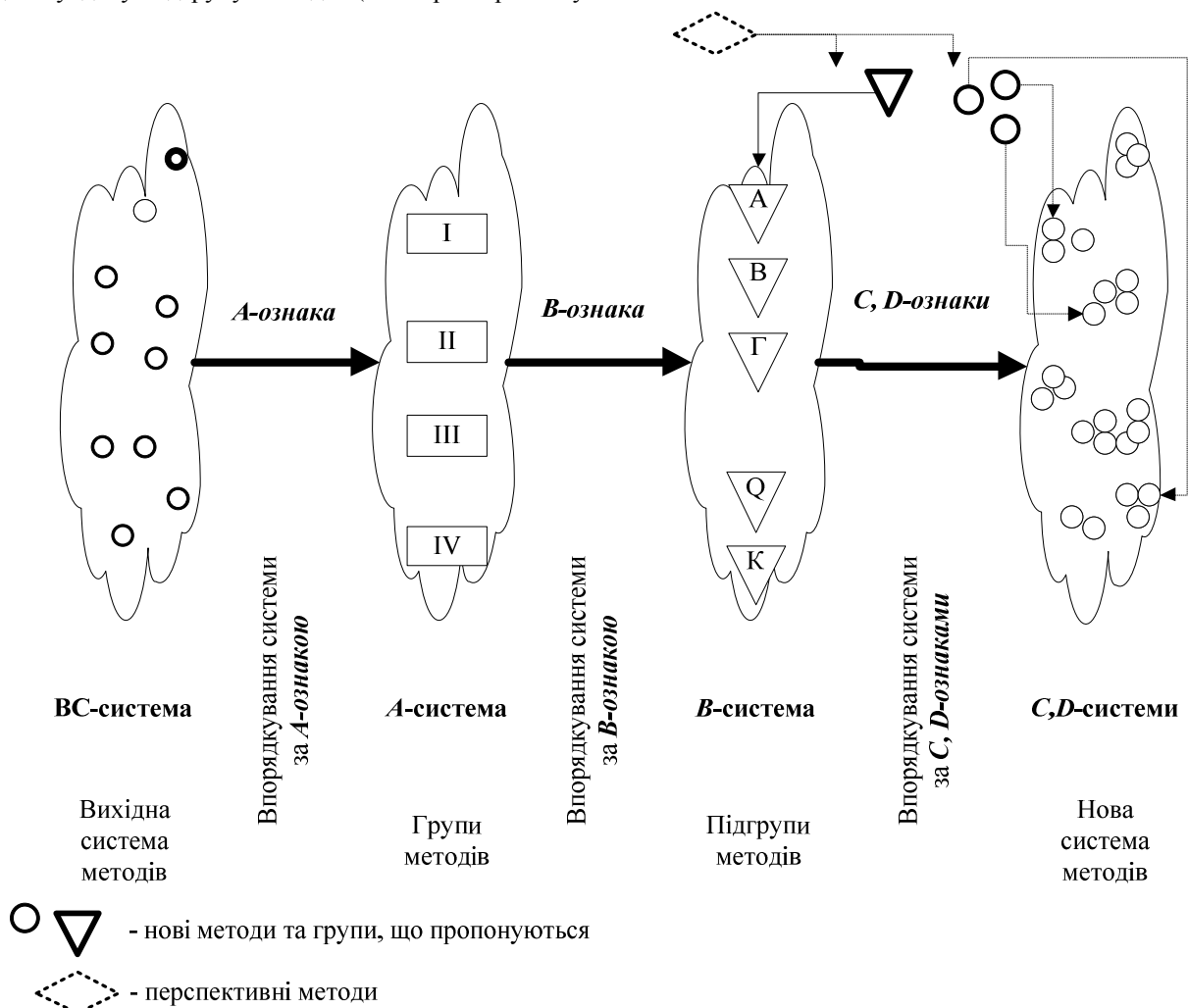


Рис. 4. Процедурно-логічна схема формування системи методів реставрації аркових конструкцій і склепінь

Структура методів реставрації кам'яних стовпів

Група методів	Підгрупа методів
I. Відновлення конструкцій	В. Зміна фізико-механічних властивостей матеріалу стовпа; Г. Відновлення монолітності кладки і форми стовпа; Д. Розбирання та відновлення всього масиву кладки; З. Комбіноване відновлення
II. Відтворення конструкцій	Ө. Зведення конструкцій
III. Підсилення з відновленням конструкцій	А. Перетворення в комплексний переріз; В. Зміна фізико-механічних властивостей матеріалу стовпа; Г. Відновлення монолітності кладки і форми стовпа; Д. Розбирання та відновлення всього масиву кладки (перекладка з використанням матеріалів, що підвищують несучу здатність); З. Комбіноване відновлення
IV. Консервація конструкцій	В. Зміна фізико-механічних властивостей матеріалу стовпа; Г. Відновлення монолітності кладки і форми стовпа; К. Зведення підтримуючих, стабілізуючих конструкцій і споруд

В основу дослідження і обґрунтування раціональних конструктивних і технологічних рішень реставрації аркових конструкцій і склепінь покладено методологічний принцип системного синтезу рішень, що враховує взаємозв'язки між можливими методами реставрації конструкцій, їх видом, технічним станом і конструктивно-технологічними обмеженнями у вигляді конструктивної і технологічної реалізованості рішень з оцінкою їх технологічності. Формування раціональних конструктивних і технологічних рішень виконується як одночасно-ітераційна послідовність процедур: вибір виду та технічного стану конструкції, вибір можливих методів її реставрації, методів виконання і механізації будівельних процесів, конструювання. Оцінка конструктивної реалізованості рішення формується як система конструктивних обмежень, що враховує особливості статичної роботи конструкції як елемента розпірної системи, її вихідне конструктивне виконання і технічний стан, а також ступінь збереження архітектурно-історичної цінності конструкції.

Оцінка технологічної реалізованості конструктивного рішення формується як система технологічних обмежень, що враховує сучасний технологічний рівень будівельного виробництва – наявність методів виконання і механізації будівельних процесів, а також можливі умови виробництва робіт – параметри фронту робіт, наявність доступу до конструкції і т.п.

Оцінка технологічності конструктивного рішення на етапі його формування виконується абсолютним Θ і відносним показником технологічності ζ :

- абсолютний показник – загальна кількість різномісних конструктивних елементів у конструктивному рішенні:

$$\Theta = n \rightarrow \min; \quad (2)$$

- відносний показник – різномісність конструктивного рішення:

$$\zeta = \frac{1}{n} \rightarrow 1, \quad (3)$$

де n – кількість різномісних конструктивних елементів в одному конструктивному рішенні.

Під час розробки та обґрунтування раціональних технологічних рішень реставрації аркових конструкцій і склепінь враховувались – запропонована система методів і розроблена система раціональних конструктивних рішень. За критерії оцінки ефективності технологічних рішень взято абсолютні та відносні показники технологічності.

Абсолютні показники:

- питома трудомісткість (q , люд.-год. на од. продукції), що визначається на основі розроблених поопераційних графіків (табл. 2):

$$q \rightarrow \min; \quad (4)$$

- кількість процесів і операцій M в технологічному рішенні:

$$M = m \rightarrow \min. \quad (5)$$

Відносний показник – багатоопераційність технологічного рішення:

$$k = \frac{1}{m} \rightarrow 1, \quad (6)$$

де m – кількість процесів і операцій в технологічному рішенні.

За результатами моделювання побудовані розподіли у відносних частотах h досліджуваних груп методів реставрації залежно від величини питомої трудомісткості (q , рис. 5) і багатоопераційності k технологічного рішення.

Розроблені рішення представлені як система конструктивних та технологічних рішень, яка охоплює всю запропоновану систему методів реставрації аркових конструкцій і склепінь – кам'яні стовпи, арки і склепіння (табл. 3).

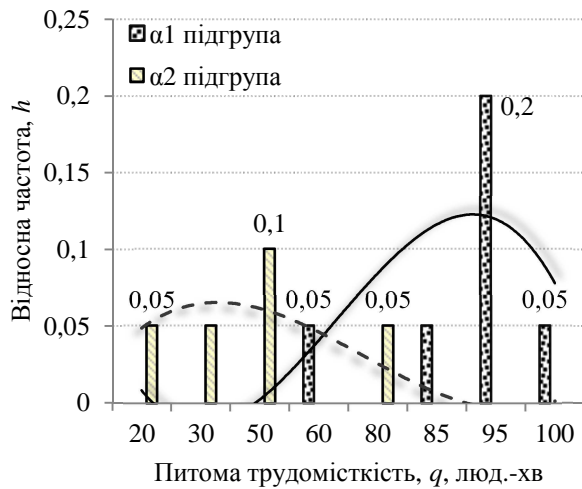


Рис. 5. Розподіл α1 і α2 підгруп методів реставрації кам'яних стовпів за величиною питомої трудомісткості

В основі організаційно-технологічного моделювання реставрації аркових конструкцій і склепінь лежить системний підхід, що враховує технічні, технологічні і організаційні взаємозв'язки під час реставрації зазначених конструкцій як елементів розпірної системи.

Об'єктом моделювання є комплекс будівельно-монтажних робіт, який можна подати у вигляді структурних елементів:

1. *Роботи підготовчого періоду* – це роботи, які забезпечують нормативні умови розгортання і здійснення реставрації пам'ятника архітектури, а також спеціальний комплекс режимних спостережень, спрямований на визначення, фіксацію та оцінку будівельно-технологічної ситуації і умов реставрації;

2. *Спеціальний комплекс будівельно-монтажних робіт і організаційно-технологічних заходів*, спрямований на забезпечення міцності і стійкості розпірних конструкцій і всього пам'ятника архітектури у процесі їх реставрації, а також на виключення негативного впливу реставраційних будівельно-монтажних робіт на архітектурні елементи і пам'ятник архітектури;

3. *Будівельно-монтажні роботи* основного циклу реставрації аркових конструкцій і склепінь.

На основі виконаного економіко-математичного моделювання механізованих процесів визначені області раціонального застосування засобів механізації монтажних і бетоноукладальних процесів (як процесів, що є найбільш представницькими за обсягами та

трудомісткістю): монтажних кранів – баштових пересувних, стрілових гусеничних, пневмоколісних, на спецшасі автомобільного типу, автомобільних; бетоноукладальних машин – причіпних бетононасосів і автобетононасосів для подавання і розподілу бетонної суміші в блоці бетонування; торкрет-установок і машин для торкретування; установок і машин для набризк-бетонування.

Оцінка впливу умов реставрації на експлуатаційну продуктивність основних машин комплексу здійснюється врахуванням зміни тривалості циклу (для циклічних машин) або тривалості роботи основної машини (безперервного принципу дії), а також врахуванням часового режиму використання основних машин комплексу протягом зміни:

$$k_{вр} = k_{в} - \sum k_i \quad (7)$$

де $k_{вр}$ – коефіцієнт використання машини у часі в умовах реставрації; $k_{в}$ – коефіцієнт використання машини у часі в нормативних умовах, беруть 0,8; k_i – коефіцієнт, що враховує додаткові перерви у роботі, обумовлені впливом факторів складності реставрації.

В розрахунках прийнято:

додатковий інструктаж	$k_1 = 0,02;$
додаткові перерви на вивчення складних умов робіт	$k_2 = 0,03;$
очікування відкриття фронту робіт	$k_3 = 0,05.$

Зміна тривалості циклу в умовах реставрації враховувалась розрахунком тривалості його складових з припущенням, що швидкісні режими роботи машин характеризуються мінімальними можливими швидкостями, а тривалість окремих операцій встановлювалася на основі розроблених поопераційних графіків (табл. 3).

Тоді, для циклічних машин експлуатаційна продуктивність дорівнює:

$$P_{см,р}^{j,i} = T Q_j k_g k_{вр} n_{ц,р}^{j,i} \quad (8)$$

де $P_{см,р}^{j,i}$ – експлуатаційна змінна продуктивність j -ї машини в i -х умовах реставрації;

T – тривалість зміни, беруть 8 год;

Q_j – вантажопідйомність j -ї машини, т;

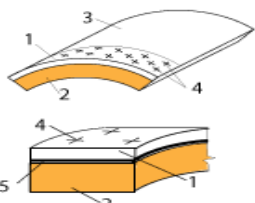
k_g – коефіцієнт використання вантажопідйомності;

$n_{ц,р}^{j,i}$ – кількість циклів за годину.

Область раціонального застосування засобів механізації монтажних і бетоноукладальних процесів визначена на основі аналізу отриманих залежностей між питомою собівартістю механізованого процесу і змінною інтенсивністю робіт, а також залежностей між питомою собівартістю механізованого процесу та обсягами робіт на об'єкті (рис. 6).

Таблиця 3

Конструктивно-технологічне рішення реставрації склепінь (приклад)

Підгрупа методів	Структура процесів	Поопераційний графік	Показники технологічності																																																																								
			q	$\frac{m}{k}$	$\sum t_{отп}^*$																																																																						
А. Перетворення у комплексний переріз: - а1 – нарощуванням верхньої зони склепіння																																																																											
Метод	а1.1. Влаштування монолітної залізобетонної набетонки-оболонки набризк-бетонуванням																																																																										
1. Встановлення анкерних стрижнів; 2. Встановлення арматури; 3. Набризк-бетонування з нанесенням на склепіння клейкої суміші			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="10">Час, хв.</th> <th rowspan="2">t, хв.</th> <th rowspan="2">q, люд.-хв.</th> </tr> <tr> <th>5</th><th>10</th><th>15</th><th>20</th><th>25</th><th>30</th><th>35</th><th>40</th><th>45</th><th>50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>1</td><td>A2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>10</td><td>20</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td>2</td><td>A2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>5</td><td>10</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td>3</td><td>3</td><td>B3</td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>10</td><td>30</td> </tr> <tr> <td colspan="11">на 1 м² склепіння, люд.-хв. Σ</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>	Час, хв.										t , хв.	q , люд.-хв.	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	1	1	A2								10	20			2	A2							5	10				3	3	B3					10	30	на 1 м ² склепіння, люд.-хв. Σ											60	$\frac{3}{0,33}$	-
Час, хв.										t , хв.	q , люд.-хв.																																																																
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50																																																																		
1	1	A2								10	20																																																																
		2	A2							5	10																																																																
			3	3	B3					10	30																																																																
на 1 м ² склепіння, люд.-хв. Σ											60																																																																
◀ Конструктивне рішення																																																																											

* – організаційно-технологічна перерва

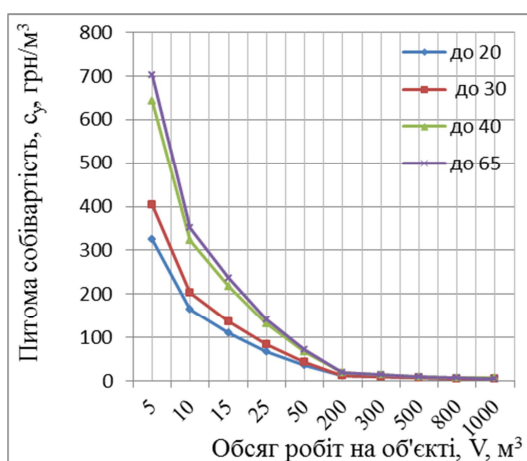


Рис. 6. Залежності між обсягом робіт на об'єкті і питомою собівартістю для причіпних бетононасосів відповідних типорозмірів (м³/год)

Визначено, що *самохідні стрілові крани* ефективні для тривалості роботи на об'єкті не менше 0,5 – 2 днів (залежно від типорозміру крана), а *баштові крани* – для тривалості роботи на об'єкті не менше 2 – 4 місяців. *Причіпні бетононасоси* доцільно використовувати при обсязі робіт на об'єкті не менше 10 – 15 м³ і змінній інтенсивності бетонування понад 5 – 10 м³/см, а *автобетононасоси* – при обсязі робіт на об'єкті понад 15 м³ і змінній інтенсивності 15 – 20 м³/см. *Торкрет-установки* доцільні при обсязі робіт не менше 10 – 15 м³ і змінній інтенсивності 3 – 5 м³/см, а *торкрет-машини* – при обсязі робіт на об'єкті не менше 10 – 15 м³ і змінній інтенсивності 6 – 10 м³/см. Установки для *набризк-бетонування* доцільні при обсязі робіт на об'єкті не менше

10 – 15 м³ і змінній інтенсивності не менше 5 – 12 м³/см, а *машини для набризк-бетонування* – при обсязі робіт 15 м³ і більше, змінній інтенсивності бетонування не менше 10 – 15 м³/см.

В основу інженерної методики вибору технології реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури покладено: системний підхід, що забезпечує врахування факторів впливу і умов реставрації при виборі можливих варіантів; цілеспрямований синтез можливих методів реставрації аркових конструкцій і склепінь залежно від виду реставрації, будівельно-технологічних характеристик аркових конструкцій і склепінь та пам'ятника архітектури в цілому; використання технологічних і конструктивних рішень і методів реставрації аркових конструкцій і склепінь, що мають наукове і техніко-економічне обґрунтування; використання багатокритеріальних методів технологічного і техніко-економічного обґрунтування раціональних варіантів, в основі яких лежить система різномірних критеріїв, що підвищують адекватність вибору раціональної технології реставрації аркових конструкцій та склепінь.

Загальна схема методики включає чотири етапи:

I. Формування та систематизацію вихідних даних по об'єкту реставрації;

II. Вибір і обґрунтування методів реставрації аркових конструкцій і склепінь;

III. Вибір методів виконання реставраційних будівельно-монтажних робіт, в тому числі робіт з охоронного підсилення і стабілізації розпірних конструкцій і пам'ятника архітектури;

IV. Розробка проектної технологічної документації.

Практичне впровадження основних результатів дослідження в проектних організаціях підтвердило достовірність та універсальність запропонованих рекомендацій. Результати дослідження використовуються в навчальному процесі КНУБА під час дипломного та курсового проектування.

Висновки

Основні наукові і практичні результати роботи.

1. **Вирішено** актуальне проблемне питання щодо необхідності підвищення основних техніко-економічних показників виконання та механізації будівельно-монтажних робіт під час реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури при одночасному гарантованому забезпеченні архітектурно-історичної ідентичності, а також міцності і стійкості розпірних конструкцій і всього пам'ятника архітектури у процесі їх реставрації.

2. **Обґрунтовано** сукупність факторів впливу, які можна розглядати як основні при виборі та обґрунтуванні можливих методів реставрації. Виділено групи основних факторів (у порядку значущості): 1) архітектурно-історична цінність конструкції; 2) будівельно-технологічні характеристики розпірних конструкцій; 3) вид реставрації пам'ятника архітектури; 4) будівельно-технологічні характеристики пам'ятки архітектури; 5) технологічні фактори; 6) організаційні умови і обмеження.

3. **Визначено** основні будівельно-технологічні характеристики аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури, а також основні дефекти і пошкодження. *Визначено основні процеси та фактори*, в результаті впливу яких в аркових конструкціях і склепіннях виникають ті чи інші пошкодження, такі як: корозійні процеси, деформації та аварійні руйнування, силові фактори і навантаження, динамічні фактори, вплив високих температур та агресивних хімічних реагентів і матеріалів. *Надано класифікацію характерних дефектів та пошкоджень* в аркових конструкціях і склепіннях пам'яток архітектури, які розподілені на дві групи: група I – пошкодження корозійного і динамічного характеру, група II – пошкодження деформаційного і силового характеру. Пошкодження першої групи становлять: для стовпів близько 88% від загальної сукупності дефектів та пошкоджень, для арок – 31% і для склепінь – близько 43%; пошкодження другої групи відповідно 12%, 69% і 57%. В цілому, технічний стан аркових конструкцій і склепінь обстежених пам'яток архітектури характеризується як добрий і задовільний (близько 37%), незадовільний (46%) і аварійний – понад 17%. *Розроблено класифікацію*

аркових конструкцій і склепінь *за категоріями їх міцності і стійкості* на основі систематизації і узагальнення їх будівельно-технологічних характеристик, включаючи особливості статичної роботи і напружено-деформованого стану, а також характерних дефектів та пошкоджень. Виділені три категорії міцності та стійкості розпірних конструкцій: I категорія – міцні і стійкі (62% від загальної кількості на об'єктах-представниках); II категорія – недостатньо міцні і стійкі (31%); III категорія – неміцні і нестійкі (7%).

4. **Сформовано методи реставрації** аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури, які *вперше подано у вигляді науково-обґрунтованої системи*, що дозволяє вибирати з безлічі можливих варіантів раціональні методи залежно від виду реставрації, категорії міцності і стійкості розпірних конструкцій при гарантованому забезпеченні їх архітектурно-історичної ідентичності. Система методів сформована як складна відкрита система, що розвивається, і складається з трьох підсистем – підсистема методів для реставрації кам'яних стовпів, підсистема методів для реставрації арок та підсистема методів для реставрації склепінь, які упорядковані на відповідні групи (за видом реставрації), на підгрупи (за природничо-науковою сутністю процесів і явищ, що лежать в основі методів) та на окремі методи (за технологічними ознаками). Для кожної з підсистем методів *обґрунтовано відповідні підсистеми раціональних технологічних і конструктивних рішень. Обґрунтовано типову структуру будівельно-монтажних реставраційних робіт і організаційно-технологічні моделі*. На основі виконаного економіко-математичного моделювання *визначено* раціональні технологічні параметри і режими виконання і механізації будівельних процесів у специфічних умовах реставрації пам'яток архітектури – область раціонального застосування засобів механізації монтажних і бетоноукладальних процесів.

5. **Розроблено** основні положення методики вибору технології реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури, яка забезпечує високопродуктивне виконання всього комплексу будівельно-монтажних реставраційних робіт у процесі розробки одночасному гарантованому забезпеченні архітектурно-історичної ідентичності об'єкта реставрації, а також міцності і стійкості розпірних конструкцій і всього пам'ятника архітектури. Експериментальна перевірка методики вибору технології реставрації аркових конструкцій і склепінь пам'яток архітектури виконана у процесі розробки проектів реставрації Варязьких печер і Великої дзвіниці Успенського Собору Києво-Печерської Лаври.

Список літератури

1. Беляев Л. А. Проведение археологических исследований при реставрации памятников архитектуры / Л. А. Беляев. – М.: Спецпроектреставрация, 1991. – 51 с.
2. Грабарь И. Э. О русской архитектуре. Исследования. Охрана памятников / Грабарь И. Э. – М.: Наука, 1969. – 424 с.
3. 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.
4. Покрышкин П. П. Краткие советы по вопросам ремонта памятников старины и искусства / П. П. Покрышкин. – Псков: Псковское губернское Правление, 1916. – 34 с.
5. Реставраційні, консерваційні та ремонтні роботи на пам'ятках культурної спадщини. ДБН В.3.2-1-2004 / Держбуд України – Офіц. вид. – К.: Укрархбудінформ, 2005. – 124 с.
6. Менийлюк А. И. Современные технологии в строительстве: Учебник; 3-е издание, доп. и пер. / [А. И. Менийлюк, В. С. Дорофеев, Л. Е. Лукашенко и др.] – К.: Освіта України, 2011. – 534 с.
7. Радкевич А. В. Багатоцільові моделі організації капітального відновлення об'єктів: монографія. / А. В. Радкевич, І. Д. Павлов. – Дніпропетровськ, 2003. – 225 с.
8. Черненко В. К. Актуальність створення системи раціональних технологічних рішень при реконструкції арокних конструкцій пам'яток архітектури / В. К. Черненко, С. А. Осипов // Містобудування та територіальне планування: Науково-технічний збірник. Вип. 36. – К.: КНУБА, 2010. – С. 471–473.
9. Осипов А. Ф. Аналіз і прогнозування основних тенденцій і напрямків прогресу в будівництві / А. Ф. Осипов, Є. Г. Романушко // Методичні рекомендації для студентів спеціальності 8.092101 "Промислове та цивільне будівництво". – К.: КНУБА, 2000. – 24 с.
10. Осипов С. А. Технология реставрации арочных конструкций и сводов памятников архитектуры: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08 / Осипов С. А. – Киев, 2013. – 341 с.

References

1. Belyaev, L. A. (1991). *Archaeological research in the restoration of monuments*. Moscow, Spetsproektrestavratsiya, 51 p.
2. Grabar, I. E. (1969). *About Russian architecture. Research. Protection of monuments*. Moscow, "Nauka", 424 p.
3. Pod'yapol'skiy, S. S., Bessonov, G. B., Belyaev, L. A. & Postnikov, T. (2000). *Restoration of monuments, 2nd ed*. Moscow, Stroyizdat, 288 p.
4. Pokryshkin, P. P. (1916). *Quick tips on repair of ancient monuments and art*. Pskov provincial government, 34 p.
5. *Restoration, conservation and repair works on the monuments of cultural heritage. DBN V.3.2-1-2004. Derzhbud Ukraine - official. view*. Kiev, Ukrarhbudininform, 124 p.
6. Meneilyuk, A. I., Dorofeyev, V. S., Lukashenko, L. E., and others (2011). *Modern construction technologies, 3rd ed*. Kiev, Osvita of Ukraine, 534 p.
7. Radkevych, A. V. & Pavlov, I. D. (2003). *Multi model of major restoration: Monograph*. Dnepropetrovsk, 225 p.
8. Chernenko, V. K. & Osipov, S. A. (2010). *Urgency creation of sustainable technology solutions in the reconstruction arched structures of architectural monuments. Urban Development and Territorial Planning: Scientific and technical collection. Iss. 36*. Kyiv, KNUBA, 471-473.
9. Osipov, A. F. & Romanushko, E. G. (2000). *Analysis and forecasting major trends and directions of progress in construction. Guidelines for the students specialty "Industrial and civil engineering."* Kiev, KNUBA, 24 p.
10. Osipov, S. A. (2013). *Technology of restoration of arched constructions and vaults of monuments of architecture. Dissertation of Cand. of technical Sciences*. Kiev, 341 p.

Стаття надійшла до редколегії 17.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Тугай, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.