УДК 624.011.1+004.9

doi:10.31650/2707-3068-2021-25-72-84

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ КУПОЛЬНОГО ПОКРИТТЯ АКВАПАРКУ З ДЕРЕВ'ЯНИМИ АРКАМИ

¹Лавріненко Л.І., к.т.н., доцент,ludmila.lavrinenko@gmail.com ORCID: 0000-0001-5601-0943¹Будко Т.Г., магістр,tatiana.budko98@gmail.com ORCID: 0000-0002-3162-8197¹Київський національний університет будівництва і архітектури
пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна

Анотація. Розглянуто питання проектування складної мультиоб'ємної купольної будівлі аквапарку із застосуванням гнотоклеєних дерев'яних арок. Складність об'ємів та ліній їх спряження, а також нелінійність подальшого розрахунку викликали потребу у створенні інформаційної моделі із застосуванням засобів BIM-проектування. При проектуванні було виконано побудову інформаційної моделі в ПК САПФІР із подальшою можливістю імпорту моделі в розрахунковий комплекс ПК ЛІРА-САПР. Для подальшої розробки ефективних вузлових спряжень було використано 3D моделювання з передачею інформаційної моделі в ПК Tekla Structures, який є спеціалізованим середовищем щодо конструктивного розділу проекту. Використання інформаційних моделей дозволило знизити затрати на проектування, оптимізувати робочі процеси, а також суттєво підвищити складність споруди як на рівні архітектурно-конструктивного рішення, так і на рівні розрахункової моделі з урахуванням нелінійних ефектів деревини.

Ключові слова: ЛІРА-САПР, САПФІР, дерев'яні гнотоклеєні конструкції, аркове покриття, аквапарк, Єврокод 5

Вступ. Сучасний стан комп'ютерних технологій, з одного боку, та вимоги будівельного проектування стосовно ефективної побудови та редагування моделі споруди – з іншого боку, створили умови для застосування BIM-технологій проектування (Building Information Modeling), що надають можливість створення інформаційної моделі споруди з урахуванням всіх (або можливих) етапів її життєвого циклу з урахуванням архітектурних, конструктивних та технологічних параметрів будівлі.

Методи 3D BIM-технологій на кафедрі металевих та дерев'яних конструкцій КНУБА впроваджуються в навчальний процес з 2016-2017 н.р., зроблено акцент на проектування, розрахунок та видачу проектної документації за допомогою сучасних 3D BIM-інформаційних комплексів [22]. При їх застосуванні широко розкриваються можливості в якості моделі використовувати інформацію, утворену засобами графічного редактора Autocad, а також результати інформаційного 3D моделювання споруди [1].

Об'єктом дослідження є проект аквапарку із складним покриттям по дерев'яних гнутих арках. На сучасному етапі використання деревини в будівництві є перспективним при застосуванні як цільних (оциліндровані колоди, профільований брус), клеєних і гнотоклеєних елементів, так і плит та брусів LVL, плит OSB, робота та характеристичні значення опорів яких суттєво різняться. З популяризацією унікальних та екологічних архітектурних рішень, клеєний брус являє собою найбільш економічно ефективний спосіб формування конструкції складної форми для простору з мінімальною кількістю внутрішніх колон та параметрами експлуатаційного середовища, властивого аквапарку [20].

Аналіз останніх досліджень. На підставі узагальнених даних, отриманих з досвіду вітчизняного і зарубіжного будівництва, сформована позитивна точка зору стосовно того, що застосування клеєних дерев'яних конструкцій в будівництві громадських та спортивних споруд дає економію матеріальних і трудових ресурсів на одиницю площі до 15%, а в

промислових і складських будівлях з хімічно агресивним середовищем до (9 ...15)% в порівнянні з металевими конструкціями [2]. Безперечною є можливість підвищення енергоефективності будівлі як на стадії будівництва, так і при експлуатації [3]. До переліку проблем, що ускладнюють і обмежують масштаб застосування клеєних дерев'яних та деревошаруватих матеріалів (LVL), відносяться такі, що обумовлені специфікою деревини, як матеріалу.

З позиції BIM-проекування слід розглядати всі етапи життєвого циклу будівлі [4]. Для дерев'яних несучих та огорожувальних конструкцій це, крім конструювання, також виготовлення, експлуатація та, за потреби, реновація. До проблемних питань, що не формалізовані в даній роботі, можна віднести такі:

- необхідність підтримки температурно-вологісного режиму при зберіганні і транспортуванні виробів, а також врахування сезонних коливань вологості;
- заходи щодо запобігання загорянню;
- дотримання цілісності зовнішніх шарів деревини в ході транспортування і монтажу;
- спеціальна обробка з'єднань та матеріалів та антисептичний захист.

Також при конструюванні низка важливих питань були розглянуті як такі, що вирішуються поза межами проекту. Для компенсації природних усадок і деформацій передбачаються зазори; температура і вологість у приміщеннях зберігання конструкцій розраховується, потім підтримується і регулюється системою вентиляції та опалення; забезпечення заходів протипожежної безпеки регламентується діючими нормами; дотримання геометричної точності зведених конструкцій, а також збереження цілісності покриття і форми частин конструкції передбачається в технологічних картах на здійснення робіт з доставки і монтажу; після завершення монтажних робіт здійснюється вогнезахисна обробка конструкцій будівлі шляхом нанесення вогнезахисного покриття [5]. Ці та інші питання висувуються перед проектувальниками та вирішуються комплексно з більшою чи меншою широтою охоплення задач проектування.

Врахування всіх етапів життєвого циклу будівель вимагає застосування нових технологій проектування [6]. Використання інформаційного моделювання змінює традиційний спосіб надання інформації на основі текстових документів і двовимірних креслень. Нові комплексні технології впроваджуються насамперед в тих країнах, де індустрія деревообробки і виготовлення будівельних конструкцій з деревини та деревошаруватих матеріалів розвивається. При моделюванні велика увага приділяється вирішенню питань аналізу суміжних з конструюванням інженерних проблем, узгодження 2D і 3D моделей, координації інформації тощо. Проте відмічається, що інструменти BIM, що найбільш повно розроблені для сталевих та бетонних конструкцій, не підходять повною мірою для моделювання дерев'яних конструкцій, в [7] розглядається стан інструментів BIM при моделюванні дерев'яних конструкцій та формулюються функціональні вимоги для розробки моделей BIM стосовно розробки національних норм для узгодження інформації від всіх учасників процесу розробки дерев'яних конструкцій [8]. Окремі процедури та взаємозв'язки у BIM технологіях на державному рівні набувають стандартного вирішення [9].

Роботи і дослідження у напрямку розробки BIM-технологій стосовно дерев'яних конструкцій переважно мають міждисциплінарний характер [10].

Інформаційне моделювання дерев'яних конструкцій, як відзначається в [11], є чи не найбільш підготовлене для застосування BIM-технологій. Це пов'язано з високою заводською готовністю та складними цифровими технологіями виготовлення конструктивних елементів сучасних дерев'яних конструкцій. Коло проблем, що включаються до розгляду в комплексному BIM-проекуванні, розширюється з включенням питань стосовно реновації та екологічного повторного використання дерев'яних конструкцій після ліквідації споруди [12, 21].

Деякі з наведених задач розглядаються в даній роботі, аналізується можливість використання наявних засобів проектування для впровадження в BIM-технологічний процес проектування. Засоби BIM-проекування розглядаються як інструменти при проектуванні

(включно з варіантним проектуванням) просторової будівлі, яка представляє собою мультиоб'ємну споруду із складними кривими спряження об'ємів (рис. 1).

До розгляду в роботі беруться такі питання:

- розроблення 3D інформаційної моделі в розрахунковому комплексі ПК САПФІР;
- розрахунок конструкції в ПК ЛІРА-САПР;
- проектування основних конструктивних елементів;
- проектування та розроблення моделей 3D вузлів у ПК Tekla.

Методи дослідження полягають у використанні розрахункової моделі конструкції у програмному комплексі ЛІРА-САПР методом скінченних елементів

Рис. 1. Фасад в осях 1.Б – 2.А

Рис. 2. План першого поверху на відмітці 0.000

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є пошук ефективних засобів проектування та розрахунок просторової моделі будівлі за нормами Єврокод 5 [13, 14], розроблення вузлів кріплення елементів, розрахунок будівлі на вогнестійкість. Проведений аналіз архітектурно-конструктивного рішення засвідчує надзвичайну важливість та високу вартість проведення комплексу заходів не тільки щодо безперебійної експлуатації споруди, а й забезпечення необхідної надійності та довговічності конструкцій з врахуванням експлуатаційних умов аквапарку. Проведення проектування із застосуванням інформаційних ВІМ-технологій надасть можливість кваліфіковано обрати необхідні конструктивні рішення купольного покриття.

Об'єкт дослідження – критий аквапарк, основою планувальної структури якого є двоповерхова будівля складної конфігурації. Конструкція покриття складається з двох куполів, опертих на залізобетонні стіни та з'єднаних плоским дахом в рівні перекриття. Загальна довжина будівлі 126 м, в найширшій точці – близько 50 м (рис. 1, рис. 2, рис. 3). Будівля має каркасну будову. Просторову жорсткість та стійкість основного об'єму

забезпечують залізобетонні стіни та дерев'яні арки. Деформаційні, температурні та осадочні шви не наявні. Інженерне забезпечення аквапарку передбачає сучасне обладнання з єдиною системою автоматизованого управління, системи кондиціювання повітря, комбінованого очищення води (хлорування і озонування). Вся інженерія, інженерно-технічні приміщення венткамер, водопідготовки, системи кондиціювання винесені в підвальну частину об'єкта. Контроль чистоти середовища як одного з факторів будівельної безпеки забезпечує неперевикнення вмісту хлору в повітрі $1,0 \text{ мг/м}^3$ на рівні середнього ступеню агресивності середовища [20].

Розглядається створення «зеленої» покрівлі, яка сприяє покращенню естетичних властивостей споруди та підвищує її тепло- та звукоізоляційні властивості.

Основний матеріал та результати досліджень. Конструкції сучасних клеєдерев'яних куполів прольотом до 125 м виконуються переважно як одношарові сітчасті або просторові структурні оболонки [15]. Серед можливих просторових схем куполів: ребристої, ребристо-кільцевої, сітчастої, – обрана нерегулярна ребристо-сітчаста схема, в якості ребер якої виступають гнукотесні арки (рис. 1, рис. 2). Таким чином, не полишаючи технологічних переваг ребристої схеми, схема отримала додаткові якості просторової стержньової структури, яка дає можливість забезпечити високу надійність конструкцій в складних екстремальних ситуаціях. Останнім часом катастрофи при руйнування покриттів спричинили висування ряду вимог щодо роботи великопролітних споруд на стадії експлуатації. Купольне покриття з надмірною, з точки зору оптимального проектування, кількістю в'язей має значно більший ресурс живучості, що в європейських нормах враховується як *progressive collapse prevention*, тобто можливість при руйнування деякої частини елементів перерозподіляти навантаження між іншими елементами.

Купольні об'єми утворювалися арками з обрисами, що моделювалися параметрично. Процес параметричного проектування складається з визначення параметрів, побудови відносин між ними, визначення передбачуваної геометрії, створення варіацій і тестування отриманого продукту [16]. Використовуючи концепцію параметризації, користувач зможе як вводити числове або текстове значення будь-якого параметру, так і використовувати змінну або складний вираз. Це дозволяє пов'язувати значення між собою, розраховувати їх за формулами в залежності від вхідних параметрів, змінювати ззовні, задавати в інших програмах [17].

Представлений розрахунок дерев'яних куполів неправильної форми узагальнює підходи до розробки унікальних форм та архітектурно-конструктивних рішень. На шляху виконання роботи було вирішено низку більш вузьких практичних питань, таких як нерівномірне навантаження на конструкцію, недопускання перекосу, розробка ефективних рішень шарнірних вузлів для монтажу арок під різними кутами тощо..

Розроблення 3D інформаційної моделі. Розроблення аналітичної моделі, що в даній роботі представляє собою конструктивну схему, в якій елементи несучих конструкцій представлені у вигляді ліній та поверхонь, доповнених в'язями та навантаженнями, виконане із застосуванням скінченних елементів.

Для побудови інформаційної моделі був прийнятий матеріал несучої конструкції (однорідна клеєна деревина класу міцності GL32h), прийняті матеріали і попередні розміри основних елементів та граничні умови, а також 3D-поверхня – пластини жорсткості, близької до реальних значень покриття для передачі нерівномірного навантаження на конструкцію. (рис. 3). Моделювання фізичної нелінійності елементів несучих конструкцій виконувалось за допомогою скінченних елементів, що оперують бібліотекою законів деформування матеріалів. В результаті розрахунок дозволив виконати оцінку пружних та пластичних деформацій елементів.

Аналіз розрахованої моделі виконувався з допомогою графічних способів представлення результатів, такі як епюри зусиль стержневих елементів, ізополя пластинчастих елементів та деформовані схеми. Для більш детального аналізу та виявленню розрахункових значень, для кожного елемента були виведені таблиці РСН (розрахункові сполучення навантажень),

сформовані відповідно до норм Єврокоду. При створенні інформаційної моделі можливим є візуальне програмування [18], для прикладу використання якого у інформаційному моделюванні будівлі може бути обрано програму САПФІР-3D з системою САПФІР-Генератор із подальшою можливістю імпорту моделі в розрахунковий комплекс ЛІРА-САПР.

Рис. 3. Властивості заданих допоміжних пластин у ПК Ліра

При проектуванні конструкції велика увага приділялася плавним лініям по всій поверхні та мінімізації переміщень всередині конструкції. Для цього поперечний переріз кожного елемента розраховувався на відповідні навантаження. Наприклад, ребра під «зеленою» покрівлею повинні витримувати більш високі навантаження, ніж під мембранним покриттям, а верхній радіус заокруглення й підрізка ребер враховували можливість вкладання OSB обшивки безперервно по всій довжині ребра й без скручування.

Створені моделі представлені на рис. 4 – рис. 7.

Рис. 4. Архітектурно-конструктивна модель у ПК САПФІР

Рис. 5. Аналітична модель у ПК САПФІР

Рис. 6. Розрахункова модель у ПК САПФІР

Рис. 7. Розрахункова модель у ПК ЛІРА-САПР

Навантаження моделі в ПК ЛІРА-САПР. Навантаження визначене на одиницю площі та прикладене до 3D-пластини. Для снігового та вітрового навантажень були створені таблиці навантажень з допомогою програми ЕСПРИ. Дана програма дає можливість швидко знайти в

інтерактивному режимі всі параметри для збирання навантажень відповідно до ДБН В.1.2-2:2006. На виході отримуємо таблиці розподіленого навантаження в залежності від кута нахилу покриття. Для коректного розподілення навантаження на несучі ребра конструкції, були створені пластинчасті елементи. Опис нерівномірних навантажень на пластинах покрівлі відбувався у ПК ЛИРА-САПР (рис. 8, рис. 9).

Рис. 8. Варіант 1 характеристичного снігового навантаження в ПК ЛИРА-САПР

Рис. 9. Вітрове характеристичне навантаження в ПК ЛИРА-САПР

Розрахунок елементів конструкції. Проектування за допомогою сумісного використання ПК Сапфір, ПК ЛІРА-Сапфір дозволяє враховувати вимоги ДБН. Побудована в ПК САПФІР інформаційна 3D модель включає систему параметричного моделювання. Процес параметричного проектування складається з визначення параметрів, побудови відносин між ними, визначення передбачуваної геометрії, створення варіацій і тестування отриманого результату. Проектування за допомогою сумісного використання ПК Сапфір та ПК ЛІРА-САПР дозволили враховувати вимоги ДБН та інших нормативних документів, включно з Єврокод 5.

Скориставшись керівництвом для проектувальників [13, 14], головну балку та криволінійне ребро купола перевіряємо за Єврокодом 5. Додатковій перевірці підлягає поперечний переріз з обов'язковою перевіркою на вогнестійкість [13], яка не входить до програмного блоку.

ПК Сапфір дозволяє побудувати 3D BIM-інформаційну модель будівлі, включає систему параметричного 3D моделювання, інструменти для створення розрахункових схем і їх передачу на розрахунок в ПК ЛІРА-САПР. При сумісному використанні ПК Сапфір, ПК ЛІРА-САПР найбільш доцільним вбачається побудова інформаційної моделі в ПК Сапфір з подальшою передачею на розрахунок в ПК ЛІРА-САПР.

В якості несучих конструкцій застосовані дощано-клеєні дерев'яні арки, аналіз напружено-деформованого стану яких було виконано із застосуванням нелінійного розрахунку. Діючі навантаження відповідають реальним умовам проектування. З метою отримання відомостей про напружено-деформований стан основних несучих конструкцій споруди було проведено чисельне моделювання просторової споруди.

Сформована аналітична модель у вигляді ліній та поверхонь, доповнених в'язями та навантаженнями, підлягає розрахунку із застосуванням скінченних елементів. При проектуванні було використано ПК САПФІР та ПК ЛІРА-САПР, при цьому було виконано побудову інформаційної моделі в ПК САПФІР із подальшим імпортом моделі в розрахунковий комплекс ПК ЛІРА-САПР [1] (рис. 10, рис. 11).

Робота з ПК САПФІР виявила ряд обмежень функціоналу порівняно з Autodesk Revit. Розрахунковий модуль ПК Revit (ПК Autodesk Robot Structural Analysis) розроблений для роботи в 3D просторі, для створення 3D-інформаційної моделі використовуються конструктивні елементи. 3D-інформаційна модель, створена таким чином, може бути проконтрольована у 3D просторі, а скінченно-елементна модель створюється автоматично на

кінцевому етапі. Так як цей додаток облегшує створення розрахункової моделі складних елементів для ПК ЛИРА-САПР, було вирішено використовувати саме цей програмний комплект і для полегшення побудови моделі були виконані наступні допоміжні кроки:

- створення 2D шаблону у AutoCad з опорними лініями осей та розташуванням жорстких стін, на які спирається покриття та імпортування креслення у ПК САПФІР у вигляді dxf- підложки, при формуванні фізичної моделі автоматично створюється модель аналітична;
- так як побудова елементів у ПК САПФІР відбувається тільки у локальній системі координат, для кожного елемента були побудовані допоміжні лінії для правильного орієнтування робочої площини у просторі. Створена система може бути донастроєна.

Рис. 10. Схема розташування елементів покриття

Рис. 11. Поздовжній (а) та поперечний (б) розрізи

Розрахунок на вогнестійкість виконано як перевіірочний за відсутності відповідного програмного блоку. За вимогами Єврокод 5 розрахунок є обов'язковим та проаналізований у [19]. Пожежа – це аварійна ситуація, розрахункові величини для комбінацій впливу якої наведені у Єврокод 1990:

$$\sum_{i>1} G_{k,j} + (A_d) + \psi_{1,1} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \cdot \quad (1)$$

Величину A_d можна не враховувати, оскільки після займання її вже не застосовують. В аварійних ситуаціях всі часткові коефіцієнти впливу дорівнюють 1, тому їх можна не враховувати. Межа вогнестійкості приймається 30хв.

Для визначення стійкості до вогню був прийнятий спрощений метод приведенного поперечного перерізу за Єврокод 5.. Для елементів у вигляді балки розрахунок виконується у такій послідовності:

1. Визначити межу вогнестійкості t (хв.) за національними нормами проектування.

2. Визначити розрахунковий силовий вплив на елемент при пожежі з допомогою рівняння з EN 1900 або понижуючого коефіцієнта η_{fi} . При дотриманні певних вимог, для спрощення розрахунків допускається приймати цей коефіцієнт рівним 0,6:

$$M_{d,fire} = \eta_{fi} M_{d,norm} \quad (2)$$

3. Визначити розрахункові величини впливу при пожежі та відповідні міцнісні характеристики матеріалу: розрахункове напруження при згині $\sigma_{m,d}$, характеристичний опір при згині $f_{m,d}$.

4. Визначити розрахункову глибину згоряння за методом приведенного перерізу:

$$d_{eff} = d_{char,n} + k_0 d_0 \quad (3)$$

та залишковий поперечний переріз дерев'яного елемента b_{fire} .

5. Визначити розрахункове напруження в зменшеному перерізі:

$$\sigma_{m,d,fire} = M_{d,fire} / Z_{fire} \quad (4)$$

6. Визначити відповідний розрахунковий опір $f_{m,d,fire}$ і впевнитись, що він не менше розрахункового напруження.

Проектування вузлів. Для подальшої розробки ефективних вузлових спряжень було використано 3D моделювання з передачею інформаційної моделі в ПК Tekla Structures, який є спеціалізованим середовищем щодо конструктивного розділу проекту. Експорт інформації у ПК Tekla реалізовано за допомогою IFC файлу, проте через певну різницю моделей та зазори, які можуть супроводжувати переходи між розрахунковою до конструктивною схемами, після імпорту файлу виникає необхідність розпізнавання елементів.

Рис. 12. Вузол 1: а – 3D-модель вузла з ПК Tekla Structures; б, в – креслення вузла

За допомогою інформаційної системи Tekla було виконано конструювання вузлів і перерізів, створення специфікацій та вивід на друк робочих креслень проекту. Були повністю розраховані та законструйовані основні вузли системи.

Вузол 1 – обпирання балки на кільце (рис. 12). Конструкція оголовка і конфігурація вузла залежать від розмірів площин зминання. Розраховані ширина торцевої площадки зминання,

необхідні довжини верхнього і нижнього відгинів, товщина прийнятого листа, зварні кутові шви, що працюють на зріз та болтове з'єднання за умови зминання пластин в отворах валиком.

Вузол 2 – обпирання балки на колону (рис. 13). З'єднання прийнято шарнірним. В зоні вузла перевірена деревина на сколювання, висота упора балки за місцевим зминанням впоперек волокон та болти на зрізування, що приєднують балку до опорної площадки.

Рис. 13. Вузол 2: *а* – 3D-модель вузла з ПК Tekla Structures; *б* – креслення вузла

Рис. 14. Вузол 3: *а* – 3D-модель вузла з ПК Tekla Structures; *б* – креслення вузла

Рис. 15. Вузол 4: *а* – 3D-модель вузла з ПК Tekla Structures; *б* – креслення вузла

Вузол 3 - опорний вузол ребра купола (рис. 14). Конструкцію опорного вузла прийнято з валиковим шарніром. Розраховано валик, необхідна ширина торцевої площадки зминання, нагельне з'єднання на бічних фасонках, товщина торцевого листа оголовка за умови роботи його на згин та упорна плита башмака

Вузол 4 – примикання вузла купола до головної балки (рис. 15). Вузол складається з врізаного листа у переріз балки та двох пластин з ребрами жорсткості між ними.

Висновки та перспективи подальших досліджень:

1. Представлений розрахунок купольного покриття аквапарку узагальнює підходи до розробки унікальних великопролітних форм та архітектурно-конструктивних рішень [20], в тому числі із застосуванням деревини.

2. Використання ВІМ-технологій практично є єдиним можливим шляхом проектування складних великопролітних дерев'яних конструкцій на етапах конструювання, виготовлення та зведення споруди для вирішення питання точності розрахунку, зведення й правильність експлуатації таких будівель [21].

2. Проведено експериментальне проектування із застосуванням елементів ВІМ-технології, що підтвердило можливість швидко створювати та редагувати модель споруди без значних зусиль [22]. Використання інформаційних моделей дозволило знизити затрати на проектування, оптимізувати робочі процеси, а також суттєво підвищити складність споруди як на рівні архітектурно-конструктивного рішення, так і на рівні розрахункової моделі з урахуванням нелінійних ефектів деревини.

3. Подальші дослідження застосування ВІМ-технологій стосовно проектування дерев'яних конструкцій мають бути проведені з детальним урахуванням всіх ефектів, пов'язаних з роботою цільної та клеєної деревини, реальних умов експлуатації, забезпечення технологічних вимог та вимог вогнестійкості.

Література

1. Барабаш М.С., Кір'язев П.М., Лапенко О.І., Ромашкіна М.А. Основи комп'ютерного моделювання. Навчальний посібник. К., НАУ, 2018. 492 с.
2. Бобылев С.Н. Экологизация экономического развития. М., Экономика, 2011. 320 с.
3. R. Lancashire, L. Taylor. Innovative timber construction. *New ways to achieve energy efficiency*. TRADA Technology Ltd, 2012. 56 p.
4. Барабаш М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства. Монография. К., Изд-во Сталь, 2014. 301 с.
5. Калугин А. В. Клееные деревянные конструкции в современном строительстве. *Промышленное и гражданское строительство*, 2011. № 7 (ч.2). С. 32– 37 .
6. Лавріненко Л.І., Кієнко Є.Є. Аналіз сценарію прогресуючого руйнування стержньового купола. *Містобудування та територіальне планування*. КНУБА, 2017. Вип. 64. С. 108-114.
7. N. Nawari. BIM Standardization and Wood Structures. *International Conference on Computing in Civil Engineering*, 2012. <https://doi.org/10.1061/9780784412343.0037>
8. F. Hossain. Advanced Building Design. *Sustainable Design and Build*, 2019. 592 p.
9. S. Kubba. Building Information Modeling (BIM). *Handbook of Green Building Design and Construction* (Second Edition), 2017. Pp. 227– 256.
10. C. Merschbrock. Digital Collaboration in the Wood-based Construction Industry. Deployment of Building Information Modeling Doctoral Dissertation University of Agder Faculty of Social Science, 2014. <https://core.ac.uk/download/pdf/52083341.pdf>
11. Building Information Modeling (BIM) and Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) for Mass Timber Construction. BIM Topics Lab, University of British Columbia, 2018. 86 p.
12. A. Koutamanis. Building information modeling for construction and demolition waste minimization. *Advances in Construction and Demolition Waste Recycling*, 2020. 592 p.
13. Дж. Порто, П. Росс. Руководство по проектированию к Еврокоду 5: Проектирование деревянных конструкций EN 1995-1-1. М., МГСУ, 2013. 308 с.
14. J. Porteous, A. Kermani. Structural Timber Design To Eurocode 5. Blackwell Publishing, 2007. 542 p.
15. Качуровский А., Лизогуб Е. Конструктивное решение легкой структурной оболочки большепролетного купола. – www.ais.by *Архитектурно-строительный портал*, 2006
16. E. Kalkan, F.Y. Okur, A.C. Altunisik. Applications and usability of parametric modeling. *Journal of Construction Engineering, Management and Innovation*. 2018. №1(3). Pp. 139– 146
17. Барабаш М.С., Київська К.І. Концепція створення інформаційної моделі будівельного

- об'єкту. *Проблеми розвитку міського середовища*. 2016. Вип. 1 (15). С. 60 – 68.
18. B.A. Myers. Taxonomies of Visual Programming and Program Visualization. *Journal of Visual Languages and Computing*. 1990. №1. С. 97– 123.
 19. Лаврінченко Л.І., Некора В.С. Дослідження нагрівання сталеві балки з гофрованою стінкою в умовах пожежі. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. Вип.6 (2020) С.12 – 21. doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.12-21.
 20. Лаврінченко Л.І., Уманець Д.В. Особливості проектування та аналіз конструктивного рішення металевих купольних покриттів аквапарку. *Містобудування та територіальне планування*. КНУБА, 2013. Вип. 50. С. 328 – 336.
 21. J. Sinopoli. Design, Construction, and Renovations. *Smart Building Systems for Architects, Owners and Builders*. 2010. Pp. 139 – 158.
 22. Адаменко В. М. Досвід застосування ВІМ-технологій при проектуванні і розрахунках сталевих та залізобетонних конструкцій. *Матеріали доповідей Першої всеукраїнської науково-практичної конференції «ВІМ-технології в будівництві: досвід та інновації»*. 2021. С.13–16.

References

- [1] M.S. Barabash, P.M. Kiriaziev, O.I. Lapenko, M.A. Romashkina, *Osnovy kompiuternoho modeliuvannya: Navchalnyi posibnyk*, K., NAU, 2018.
- [2] S.N. Bobylev, *Ekolohyzatsiya ekonomycheskoho razvytyia*, M., Ekonomyka, 2011.
- [3] R. Lancashire, L. Taylor, “Innovative timber construction”, *New ways to achieve energy efficiency*. TRADA Technology Ltd, 2012
- [4] M. S. Barabash, *Kompiuternoe modelirovaniye protsessov zhyznennoho tsykla ob'ektov stroitelstva: Monografya*, K., Stal, 2014.
- [5] A.V. Kaluhyn, “Kleenye dereviannye konstruktsyy v sovremennom stroitelstve”. *Promyshlennoye y hrazhdanskoe stroitelstvo*, № 7(part 2), pp. 32– 37, 2011.
- [6] L.I. Lavrinenko, Y.Y. Kienko, “Analiz stsenarii prohrasuiuchoho ruiniuvannya sterzhnovoho kupola”. *Mistobuduvannya ta terytorialne planuvannya*, KNUBA, vol. 64, pp. 108 – 114, 2017.
- [7] N. Nawari, “BIM Standardization and Wood Structures”. *International Conference on Computing in Civil Engineering*, 2012. <https://doi.org/10.1061/9780784412343.0037>
- [8] F. Hossain, “Advanced Building Design”. *Sustainable Design and Build*, 2019.
- [9] S. Kubba, “Building Information Modeling (BIM)”. *Handbook of Green Building Design and Construction* (Second Edition), pp. 227– 256, 2017.
- [10] C. Merschbrock, *Digital Collaboration in the Wood-based Construction Industry. Deployment of Building Information Modeling: Doctoral Dissertation University of Agder Faculty of Social Science*, <https://core.ac.uk/download/pdf/52083341.pdf>, 2014.
- [11] *Building Information Modeling (BIM) and Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) for Mass Timber Construction*, BIM Topics Lab, University of British Columbia, 2018.
- [12] A. Koutamanis, “Building information modeling for construction and demolition waste minimization”, *Advances in Construction and Demolition Waste Recycling*, 592 p., 2020.
- [13] J. Porteous, P. Ross, *Designer` Guide to Eurocode 5. Design of Timber Buildings EN 1995-1-1*, M., MHSU, 2013.
- [14] J. Porteous, A. Kermani, *Structural Timber Design To Eurocode 5*, Blackwell Publishing, 2007.
- [15] A. Kachurovskiy, E. Lyzohub, “Konstruktyvnoye reshenye lehkoi strukturnoi obolochky bolshheproletnogo kupola”, *Arkhytekturno-stroytelnyi portal*, www.ais.by, 2006
- [16] E. Kalkan, F.Y. Okur, A.C. Altunisik, “Applications and usability of parametric modeling”, *Journal of Construction Engineering. Management and Innovation*, №1(3), pp. 139– 146, 2018.
- [17] M.S. Barabash, K.I. Kyivska, “Kontseptsii stvorennia informatsiinoi modeli budivelnogo ob'ektu”, *Problemy rozvytku miskoho seredovyshcha*, vol. 1 (15), pp. 60– 68, 2016.
- [18] B.A. Myers, “Taxonomies of Visual Programming and Program Visualization”. *Journal of Visual Languages and Computing*, №1, pp. 97– 123, 1990.

- [19] L.I. Lavrinenko, V.S. Nekora, “Doslidzhennia nahrivannia stalevoi balky z hofrovanoi stinkoiu v umovakh pozhezhi”. *Budivelni konstruktсии. Teoriia i praktyka*, vol. 6, pp. 12 – 21, 2020. doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.12 – 21.
- [20] L.I. Lavrinenko, D.V. Umanets, “Osoblyvosti proektuvannia ta analiz konstruktyvnoho rishennia metalevoho kupolnoho pokryttia akvaparku”. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, KNUBA, vol. 50, pp. 328 – 336, 2013.
- [21] J. Sinopoli, “Design, Construction, and Renovations”. *Smart Building Systems for Architects, Owners and Builders*, pp. 139 – 158, 2010.
- [22] Adamenko V. M. “Dosvid zastosuvannia BIM-tekhnologii pry proektuvanni i rozrakhunkakh stalevykh ta zalizobetonnykh konstruktсии”. *Materialy dopovidei Pershoi vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii: BIM- tekhnologii v budivnytstvi: dosvid ta innovatsii*, pp. 13–16, 2021.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КУПОЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ АКВАПАРКА С ДЕРЕВЯННЫМИ АРКАМИ

¹Будко Т.Г., магистр,
tatiana.budko98@gmail.com ORCID: 0000-0002-3162-8197

¹Лавриненко Л.И., к.т.н., доцент,
ludmila.lavrinenko@gmail.com ORCID: 0000-0001-5601-0943

¹Киевський національний університет будівництва та архітектури
пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03037, Украина

Аннотация. Рассмотрены вопросы проектирования мультиобъемного купольного сооружения аквапарка с использованием в качестве несущих конструкций гнутоклееных арок. Сложность объемов и линий их сопряжений, а также требования нелинейного расчета большепролетных деревянных элементов в постановке Еврокод 5 вызвали необходимость создания информационной модели с использованием элементов BIM-технологий. Отмечено, что проектирование в рамках этих технологий развивается в направлении проектирования конструкций с учетом всех жизненных этапов сооружения. В обзоре отмечено, что информационное моделирование деревянных конструкций в странах с развитой базой стройиндустрии таких конструкций наиболее подготовлено для применения BIM-технологий, что связано с высокой заводской готовностью и сложными цифровыми технологиями изготовления конструктивных элементов современных деревянных сооружений. При проектировании была построена информационная модель в ПК САПФИР с последующей возможностью импорта модели в расчетный комплекс ПК ЛИРА-САПР. Для построения модели использовались дополнительные шаги: создание 2D шаблона в AutoCad с опорными линиями и расположением жестких стен, на которые опирается покрытие, и импортирование чертежей в ПК САПФИР в виде dxf подложки; для всех элементов системы, расположенных в локальной системе координат, были построены вспомогательные линии для правильной ориентации плоскости в пространстве; нагрузки на криволинейные поверхности рассчитывались в ПК Экспри. Для дальнейшей разработки эффективных узловых сопряжений было использовано 3D моделирование с передачей информационной модели в ПК Tekla Structures как специализированную среду для конструктивного раздела проекта.

Представленный расчет сложного купольного покрытия по арочным конструкциям обобщает подходы к разработке уникальных форм конструкций с применением древесины. Использование информационных моделей позволило снизить затраты времени на проектирование, оптимизировать рабочие чертежи, а также существенно повысить сложность сооружения как на уровне архитектурно-конструктивного решения, так и на уровне расчетной модели с учетом нелинейных эффектов древесины.

Ключевые слова: ЛИРА-САПР, САПФИР, деревянные гнутоклееные конструкции, арочное покрытие, аквапарк, Еврокод 5

BIM-TECHNOLOGY METHOD AND MODELS IN THE DESIGN OF THE AQUAPARK DOME STRUCTURE WITH WOODEN ARCHES

¹**Budko T.G.**, master,

tatiana.budko98@gmail.com ORCID: 0000-0002-3162-8197

¹**Lavrinenko L.I.**, PhD, Assistant Professor,

ludmila.lavrinenko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5601-0943

¹*Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture*

31, Povitroflotsky Ave., Kyiv, 03037, Ukraine

Abstract. The issues of designing a multi-volume dome structure for a water park using wooden arches as load-bearing structures are considered. The complexity of the volumes and their joining lines, as well as the requirement to perform non-linear analysis of large-span timber elements at the request of Eurocode 5, make an information model with elements of BIM-technology necessary. It is noted that design using this technology is developing in the direction of taking into account all stages of the structure life cycle. Wood Information modeling is the most prepared for the use of BIM-technologies. This is due to the high factory readiness and complex digital technologies for the manufacture of modern wooden structures elements. During the design, an information model was formulated in the SAPFIR software package with the subsequent possibility of importing the model into the LIRA-SAPR software package. Additional steps were used to build the model: creating a 2D template in AutoCad with reference lines and the location of rigid walls on which the coating rests, and importing drawings into SAPFIR as a dxf-underlay; for all elements of the system located in the local coordinate system, auxiliary lines were built for the correct orientation of the plane in space; loads on curved surfaces were calculated in the PC Expri. For the further development of the nodes, 3D modeling was used with the transfer of the information model to the Tekla Structures PC as a specialized environment for the constructive section of the project.

The presented calculation of a complex dome structure using wooden arches summarizes the approaches to the development of unique forms of structures using wood. The use of information models made it possible to reduce the time spent on design, to optimize the drawings, and also to significantly increase the complexity of the architectural and structural design of the structure and the design model, taking into account the nonlinear effects of wood.

Key words: LIRA-SAPR, SAPFIR, wood bent-glued structures, arched covering, aqua park, Eurocode 5