

УДК 624.445

МОДУЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЕРЕВ'ЯНОЇ СТРУКТУРИ

MODULAR WOODEN STRUCTURE TECHNOLOGY

Гілодо О.Ю., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0001-5387-5538, Арсірій А. М., к.т.н., доцент ORCID: 0000-0003-3262-1488, Ковтун В. П., інженер ORCID: 0000- 0002-7454-9296 (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Gilodo O.Yu., Ph.D., associate professor, ORCID ORG: 0000-0001-5387-5538, **Arsiriy, A. M.**, Ph.D., associate professor, ORCID ORG: 0000-0003-3262-1488, **Kovtun V.P.**, engineer, ORCID ORG: 0000- 0002-7454-9296 (Odesa state academy of civil engineering and architecture)

Розроблена технологія виготовлення конструкції сітчастих дерев'яних оболонок з оптимальними параметрами геодезичної мережі та вузловими з'єднаннями елементів за допомогою універсального конектора.

The technology of manufacturing mesh wooden shells with optimal parameters of the geodesic network and nodal connections of elements using a universal connector has been developed. The invention contributed to the appearance of qualitatively new technical properties: a significant simplification of the design, a reduction in the number of its components at the same time as an increase in manufacturability and a decrease in the metal capacity of the connector; ensuring the possibility to connect the details of structures at the ends at an arbitrary angle; the ability to create structures with any geometric parameters: rectangular, in the form of honeycombs, complex symmetrical and asymmetrical shapes, and others. This technology is based on the use of a universal steel connector and wooden slats, which, due to their shape, can form almost any structure based on hexagonal polygons. The subject of research is a large-scale model of a wooden dome with a diameter of 4 m. The installation is carried out in the following way. One or more connectors are used to connect two or more parts. First, the parts to be connected must be prepared: the ends of the parts to be connected are milled at a certain angle. Then, samples are milled in the ends for the location of the fastening element in them. Holes are drilled in the ends of the parts to be connected to accommodate rods with threaded ends.

Ключові слова: купол, дерев'яні конструкції, конектор, технологія

Вступ. Деревина – відновлюваний природний ресурс. Високі фізико-механічні та конструкційно-технологічні параметри зумовили широке застосування пиломатеріалів у різних галузях. Одним із основних споживачів є інтенсивно дерев'яне домобудування, що розвивається, потребує значних обсягів пилопродукції. Завдання підвищення технічного рівня та якості виробів, конструкцій з деревини, збільшення ефективності їх використання, зниження матеріаломісткості та вартості, є невід'ємними частинами підвищення рівня ресурсозбереження. Сучасні інноваційні технології дозволяють скоротити витрати матеріалів за рахунок застосування нових технічних рішень дерев'яних конструкцій, що підвищує рівень ресурсозбереження. Одним із перспективних напрямків є вдосконалення просторових конструкцій – оболонки із клеєної деревини. Найбільш відповідальною ділянкою конструкції є з'єднання її елементів між собою у вузлах з використанням механічних зв'язків. Оболонка виконує як несучі так і огорожувальні функції. Високий рівень заводської готовності, можливість контролю міцнісних, звуко- та теплоізолюючих властивостей значно знижують витрати. При цьому надійне та просте технічне рішення вузлового конектора елементів структури оболонки ще не запропоновано. Відсутні науково обгрунтовані відомості про податливість таких з'єднань, мало висвітлені і вирішені питання конструювання та розрахунку не запропоновано універсальну технологію виготовлення. Тому, проведення спеціальних досліджень у напрямку розробки технології дерев'яних структур є актуальним.

Використовуючи технічні можливості комп'ютерного проектування, стали доступними цифрові моделі розбивки та розрахунку геодезичних куполів. Можливо не тільки з високою точністю розраховувати багаторазові мережні розбивки, але й автоматизувати проектування. Водночас не можна сказати, що оптимальна система вже отримана та досліджена. Не повністю вивченими залишаються питання оптимального формоутворення та підтвердження теоретичних результатів натурними випробуваннями.

Об'єкт наших досліджень – технологія виготовлення конструкції сітчастих дерев'яних оболонки з оптимальними параметрами геодезичної мережі та вузовими з'єднаннями елементів за допомогою універсального конектора. Наукова новизна забезпечена отриманим патентом [1]. Винахід сприяв появі якісно нових технічних властивостей: суттєвого спрощення конструкції, зменшення кількості її складових одночасно з підвищенням технологічності та зниженням металоємності конектора; забезпечення можливості з'єднувати деталі конструкцій у торцях під довільним кутом; можливість створювати конструкції з будь-якими геометричними параметрами: прямокутні, у вигляді бджолиних сот, складної симетричної та несиметричної форми та інші. Ця технологія заснована на застосуванні універсального сталевих конектора та дерев'яних планок, які, за рахунок їх форми, можуть сформувати практично будь-яку структуру на основі

шестигранних полігонів. Запропонована форма розбивки - багатогранник фулерен, що описує сферу і складається з п'яти і шестикутних граней.

Аналіз існуючих досліджень. Існуючі на сьогоднішній день різновиди робочих зв'язків та з'єднань елементів можна умовно розділити на кілька основних груп за характером роботи [2-9]: на сколювання/зминання (врубки, шпонки, гребінки); на вигин (нагелі, глухарі, болти, шурупи, скоби, гвинти, цвяхи); на зсув (клеюві з'єднання та з'єднання на шайбах клеєстальних); на розтягування (сталеві хомути, болти, тяжи, скоби, накладки). Всі вони розроблені досить давно і оптимального варіанта запропоновано не було. До нагельних відносяться такі з'єднання, в яких застосовуються спеціальні зв'язки, що працюють переважно на вигин та що перешкоджають взаємному зсуву елементів. Найбільш поширеними типами нагельних з'єднань є з'єднання на болтах, цвяхах, шурупах, нагельних і зубчастих пластинах та ін. Свого часу були популярні нагельні пластини, що складаються з основи, виконаної з різних матеріалів та прикріплені до них стрижневим нагелям. Діаметр і довжина нагелів можуть змінюватись. Фіксація нагелів на пластині здійснюється за рахунок щільної посадки цвяхів в отвори на пластині, або виконується приварювання нагелів до пластини встик контактним зварюванням. Відомі зубчасті нагельні пластини, що складаються з розташованих по обом сторонам голкоподібних штирів, міцно замуrowаних у 2-х шарову основу-плиту. Стрижні, що вклеюються, застосовують при з'єднанні дерев'яних елементів короткими стрижнями з арматури періодичного профілю діаметром 12...25 мм. Стрижні вклеюють у попередньо виконані прямокутні пази або круглі отвори. Шпонки системи «Кристоф і Унмак» – чавунні кільця, що мають тавровий перетин. Вертикальна стінка тавра «вставляється» у зазор між двома брусами, що з'єднуються; горизонтальна полиця - впроваджується в попередньо висвердлені кільцеві жолобки. Вертикальна стінка виконує 2 функції: збільшує жорсткість шпонки та перешкоджає його перекосу. Зубчаста шпонка «Алігатор», як приклад з'єднання на зубчастих шпонках та шайбах, представляє замкнуте кругле кільце зі сталі товщиною 0,12...0,14 см, з вирізаними з обох боків гострими фестонами, наявність яких знижує стійкість шпонки, т.к. стійкість забезпечується тільки за рахунок циліндричної жорсткості кільця. З урахуванням цього фактора максимальний діаметр кільця обмежений розміром 160 мм. Розмір шайби і болта розраховуються з необхідності сприйняття розпору, а також подолання пружної відсічі під час вдвлювання шпонки в деревину.

Мета роботи – вдосконалення конструкції та технології виготовлення просторових структур з деревини для домобудівництва. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі: розроблення конструкції з'єднання елементів каркасу структури, що відрізняється простотою та технологічністю виготовлення; створення розрахункової моделі каркасу оболонки; розроблення методики випробування; встановлення міцнісних та

деформаційних характеристик з'єднань; виконання чисельних досліджень напружено-деформованого стану моделі; проведення натурних випробувань моделі оболонки з різними варіантами навантаження і різними варіантами обшивки.

Методика досліджень. Розроблено методику експерименту, що включає конструкцію опор та технологію створення навантаження на вузли, що дозволяє моделювати рівномірно розподілене завантаження всієї поверхні або якоїсь її частини. Навантаження передбачене штучними вантажами через підвіси до вузлів. Прилади – тензодатчики на характерних ділянках елементів купола з дублюванням показників на симетричних елементах. Прогин центру купола фіксуватиметься за допомогою прогинуміру.

Результати досліджень. Для рішення поставлених задач було обрана купольна форма оболонки. Предмет досліджень - великомасштабна модель дерев'яного купола з універсальним конектором. Запропонований універсальний конектор [8] для з'єднання деталей будівельних конструкцій під будь-яким кутом (рис.4, рис. 5), включає поворотні кріпильні елементи 1 і сполучний кріпильний елемент 2, які встановлюють в деталі 3, що з'єднуються, кріпильний елемент 4 - стяжний болт, і гайку 5, яка є частиною сполучного кріпильного елемента 2, і призначена для затягування кріпильного елемента 4. Кожен з поворотних кріпильних елементів 1 складається з поворотної частини 6, яка має отвір 7 і жорстко з'єднана з торцем стрижня з різьбовим кінцем 8 отвори 7 перпендикулярно центральній поздовжній осі стрижня з різьбовим кінцем 8 центральній поздовжній осі стрижня з різьбовим кінцем 8, а центральна поздовжня вісь отвору 9 в бічній поверхні кільця 10 перпендикулярна центральній поздовжній осі центрального отвору 12 кільця 10. Отвори 7 поворотних частин 6 виконані з можливістю вільного повороту 4 при його розміщенні у зазначених отворах 7. Гайка 5 для затягування стяжного кріпильного елемента 4 входить до складу конструкції сполучного кріпильного елемента 2 і жорстко з'єднана зі свого боку з торцем стрижня з різьбовим кінцем 13 з розташуванням центральній поздовжній поздовжній елемента 4 перпендикулярно до центральній поздовжній осі стрижня з різьбовим кінцем 13. Довжина стрижня кріпильного елемента 4 забезпечує розташування на ньому поворотних кріпильних елементів 1 і можливість виконання різьбового з'єднання з гайкою 5 для затягування кріпильного елемента 4. Під головкою елемента кріплення 4 встановлена плоска шайба 18.

Запропонований спосіб монтажу будівельних конструкцій за допомогою універсального конектора виконують в такий спосіб. Для монтажу будівельної конструкції шляхом з'єднання двох або більше деталей (рис. 6) використовують один або кілька універсальних конекторів. Спочатку, деталі 3, що з'єднуються, готують для монтажу: торці деталей 3, що з'єднуються, фрезерують під певним кутом. Потім в торцях деталей, що з'єднуються фрезерують вибірки 19 для розташування в них стяжного кріпильного

елемента 4 при суміщенні торців деталей, що з'єднуються, і вибірки 20 для розташування в ній гайки 5 і поворотних частин 6 при суміщенні торців деталей, а також по кондуктору 2 при поєднанні торців деталей. В торцях з'єднувальних деталей 3 свердлять отвори 23 для розміщення стрижнів з різьбовими кінцями 8 і стрижня з різьбовим кінцем 13. На бічних сторонах з'єднувальних деталей 3 виконують отвори 24 для розташування кілець 10 поворотних кріпильних елементів 1 і кільця 15 сполучного кріпильного елемента 2. Після цього виконують монтаж будівельної конструкції (рис. 1). Першим етапом експериментального дослідження стало визначення ступеня деформативності натурних фрагментів купола. Була підготовлена серія стрижнів з клеєної деревини для випробування на центральне стискання.

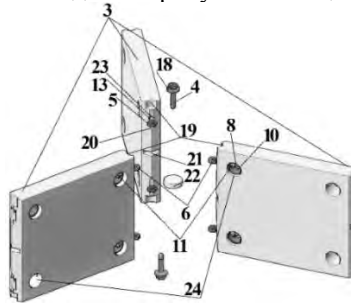


Рис. 1. Схема вузлового конектора

Випробування виконували в лабораторії кафедри, на стенді за допомогою гідравлічного домкрата з максимально можливим навантаженням 20 тон. Особливістю призматичних зразків була наявність у припорних зонах концентраторів напружень у вигляді отворів для розташування універсальних конекторів. Значні розміри моделі дозволили мінімізувати вплив масштабного фактора на отримані результати. Загальним висновком дослідження слід вважати високу несучу здатність зразків, що були випробувані. Руйнування зразків відбувалося у припорній зоні внаслідок зминання деревини.



Рис. 2. Зразок елемента після випробування

Наступним етапом став розрахунок купола у програмному комплексі «ЛІРА» – визначено методику чисельного експерименту та побудовано комп'ютерну модель купола; виконано розрахунок несучих елементів купола на дію статичних навантажень, визначено зусилля в елементах та переміщення вузлів. При повному вертикальному навантаженні максимальні стискаючі повздожні зусилля та згинальні моменти зафіксовані в елементах опорного контуру, певні згинальні моменти зафіксовані також у середній частині купола в елементах. При завантаженні половини купола вертикальним навантаженням максимальні повздожні стискаючі зусилля зосереджені у стержнях опорного контуру та припорних зі сторони прикладання навантаження.

Зараз в лабораторії кафедри металевих, дерев'яних та пластмасових конструкцій ОДАБА завершується підготовка до випробувань купола діаметром 4 м. До того, як розпочати монтаж конструкції та реалізувати запропоновану технологію було розроблено математичну модель, яка дозволила створити програмне забезпечення, що дало можливість розбивати досліджувану оболонку на деталі: планки з технологічними отворами та пазами та виготовити їх на сучасному устаткуванні для обробки деревини. Монтаж виконується в такий спосіб. Для з'єднання двох або більше деталей використовують один або кілька конекторів. Спочатку, деталі, що з'єднуються, необхідно підготувати: торці деталей, що з'єднуються, фрезерують під певним кутом (рис. 4).

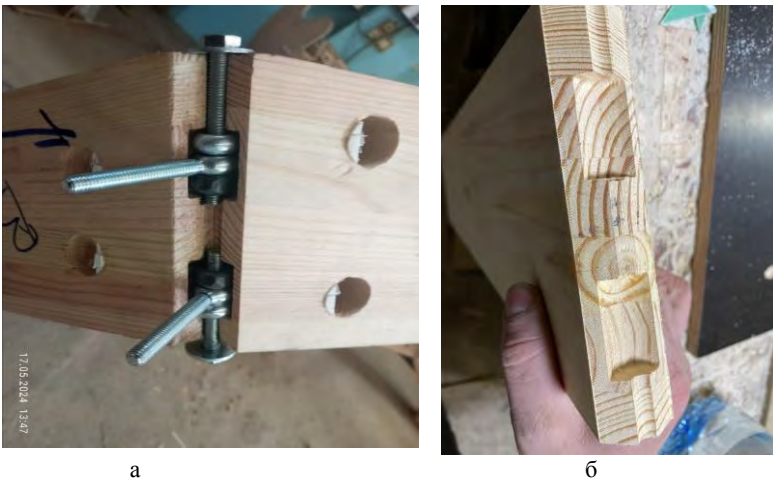


Рис. 3. а - вузол з двома конекторами; б – відфрезерований торець елемента

Потім у торцях фрезерують вибірки для розташування в них стяжного елемента кріплення і свердлять отвори для розміщення стрижнів з різьбовими кінцями. До того, як розпочати монтаж конструкції та реалізувати

запропоновану технологію було розроблено математичну модель, яка дозволила створити програмне забезпечення, що дало можливість розбивати досліджувану оболонку на деталі: планки з технологічними отворами та пазами та виготовити їх на сучасному устаткуванні для обробки деревини. Розроблено методику експерименту [10], що включає конструкцію опор та технологію створення навантаження на вузли, що дозволяє моделювати рівномірно розподілене навантаження всієї поверхні або якоїсь її частини. Конструкція опор дозволяє виставити купол за рівнем та сприймати конструкцію розпору. Навантаження передбачене штучними вантажами через підвіси до вузлів. Прилади – тензодатчики на характерних ділянках елементів купола з дублюванням показників на симетричних елементах. Прогин центру купола фіксуватиметься за допомогою прогинуміру.



Рис. 4. Модель купола \varnothing 4 м

Висновки. Використовуючи сучасні програмні комплекси з розбивки криволінійних поверхонь на полігони, можливо моделювати покриття складної форми при досить простому та надійному монтажі [11, 12]. Тобто проектувальники отримують можливість перетворення міського середовища шляхом створення житлового простору у формі оболонок – куполів, еліпсів, циліндрів та їх перетинів. Завдання вирішується моделюванням покриття та розбивкою його поверхні на багатокутники та створенням цифрових моделей стрижнів з передачею їх для виготовлення на ЧПУ. Запропонована технологія дозволить вирішувати завдання реконструкції та відновлення зруйнованих під час війни будівель, перетворювати архітектурний вигляд типової забудови, отримувати додатковий житловий простір мансард.

1. Patent na vinakhid №117276. Unіversal'niy z'ednuvach dlya z'ednannya detaley budіvel'nikh konstruktsiy pid dovіl'nim kutom nikh konstruktsiy za dopomogoyu unіversal'nogo z'ednuvacha. Kovtun V.P. opubl. 10.07.2018.

2. Гетц До. Р., Хоор Д., Мелер До., Наттерер Ю. Атлас деревянных конструкций. Пер.з ньому. – М.: Будвидав, 1985.

Getts Do. R., Hoor D., Meler Do., Natterer Yu. Atlas derev'yanih konstruksly. Per.z nomu. M.: Budvidav, 1985

3. Bahnlolze H. Sporthallendoch in Holzfachwekkonstruktion. – Schweizer Baublatt, 1976, N35/

4. Fachwerkramen für eine Beithalle. - Bau mit Holz, 1976, N I L - s. 519-523

5. Гестеши Т. Деревянные сооружения гражданские и инженерные. Основы расчёта и конструирования. Под ред. П. Я. Каменцева. М., Гостехиздат, 1929 г.

Gesteshi T. Derevyannnye sooruzheniya grazhdanskie i inzhenernyie. Osnovi rascheta i konstruirovaniya. Pod red. P. Ya. Kamentseva. M., Gostekhizdat, 1929 g.

6. Инжутов И.С., Дмитриев П.А., Стрижаков Ю.Д. Пространственные совмещенные блок–фермы на основе древесины для покрытий» зданий // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 1987. № 1. С 22 – 27

Inzhutov I.S, Dmitriev P.A., Strizhakov Yu.D. Prostranstvennie sovmeshchennye blok–fermi na osnove drevesini dlya pokritii» zdanii // Izvestiya VUZov. Stroitelstvo i arkhitektura. 1987. № 1. S 22 – 27

7. Леннов В.Г. Штампованные когтевые шайбы, как новый тип связей элементов деревянных конструкций / В. Г. Леннов // Труды / Горьк. инженер.- строит. институт. – Горький, 1949. – Вып. 1. – с. 169–181.

Lennov V.G. Shtampovannnye kogtevie shaibi, kak novii tip svyazei elementov derevyannikh konstruksii / V. G. Lennov // Trudi / Gork. inzhener.- stroit. institut. – Gorkii, 1949. – Vip. 1. – s. 169–181.

8. Молев И.В. Сетчатые купола в современной строительной практике. – Горький. Изд. ГГУ, 1981. – 64 с.

Molev I.V. Setchatie kupola v sovremennoi stroitelnoi praktike. – Gorkii. Izd. GGU, 1981. – 64 s.

9. Пособие по расчётным характеристикам клеевых соединений для строительных конструкций. М., Издательство литературы по строительству, 1972 г. – 211.

Posobie po raschetnim kharakteristikam kleevikh soedinenii dlya stroitelnikh konstruksii. M., Izdatelstvo literaturi po stroitelstvu, 1972 g. – 211.

10. Кліменко В.З., Белов І.Д. Випробування конструкцій, обстеження та моніторинг будівель і споруд/В.З. Кліменко. – К.: Кондор, 2018. – 572 с.

Klivenko V.Z., Belov I.D. Viprobuvannya konstruksii, obstezhennya ta monitoring budivel i sporud/V.Z. Klivenko. – K.: Kondor, 2018. – 572 s.

11. Hilodo O.Y., Arsiriy A.M., Korshak O.M., Kovtun V.P. «Test of a net dome fragment», "Modern Structures of Metal and Wood", vol. 25, pp. 21-26, 2021.

12. Гилодо А.Ю., Арсирий А.Н., Ковтун В.П. «Эффективная конструкция деревянного жилого дома в виде геодезического купола с универсальным коннектором», «Вестник ОГАСА», vol. 82, pp. 19-26, 2021.

Gilodo A.Yu., Arsirii A.N., Kovtun V.P. «Effektivnaya konstruksiya derevyannogo zhilogo doma v vide geodezicheskogo kupola s universalnim konnektorom», «Vestnik OGASA», vol. 82, pp. 19-26, 2021.