

5. Разработка, исследование и оказание научно-технической помощи во внедрении клееных конструкций с применением водостойкой фанеры и древесины, и древесины различных пород в с/х строительстве УССР: Отчет по научно-исследовательской работе ЛИСИ, науч. руководитель Е.И. Светозарова. т.1 Л.: 1976. – 219 с.
6. Серов Е.Н. Конструкции из дерева и пластмасс: Метод. указания по расчету трехшарнирных деревянных рам по деформированной схеме на ЭЦВМ «Наири-2». Л.: ЛИСИ, 1977. – 51 с.
7. Курганский В.Г., Кузнецова Н.М. Влияние анизотропии на напряженное состояние кривого бруса в случае чистого изгиба. – Тр. ЦНИИСК им. Кучеренко М.: 1981. – С. 148-155.
8. Освенский Б.А., Кузнецова Н.М. Исследование напряженного состояния гнутоклееного деревянного элемента и конструкции. – В кн. Вопросы прочности, долговечности и деформативности древесины и конструкционных пластмасс: Сб. тр. №186 / МИСИ им. Куйбышева М.: 1981. – С.13-18. 9. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.
10. Серов Е.Н. Расчет цельноклееного карнизного узла рамы. Краткие содержания докладов XXVIII научной конференции ЛИСИ. Л.: ЛИСИ, 1970. – С. 161-164.
11. Серов Е.Н. Проектирование деревянных конструкций: учеб. пособие / Е.Н. Серов, Ю.Д. Санников, А.Е. Серов; под. ред. Е.Н. Серова. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 236 с.
12. Найчук А.Я., Серов Е.Н., Захаркевич И.Ф. Некоторые особенности расчета клееных деревянные конструкций.: Сб науч.тр. Междунар. Симпозиума – Брест: ОАО «Брестская типография», 2009. – С. 205-211.
13. ДБН В.2.6-161:2010. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. - С. 34-37.
14. ТКП EN 1995-1-1:2009 (02250) Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. С. 29-31.

### Анотація:

Розглянуто основні методики розрахунку гнутоклеєних рам. Проведено аналіз і порівняння методик з класичною теорією опору матеріалів. Наведено графіки порівняння методів визначення напружень в карнизному вузлі гнутоклеєних рам з різними радіусами кривизни на прикладі рам промислової будівлі прольотом 12, 15 і 21 м.

Ключові слова: Гнутоклеєні рами, клеєна деревина, методики розрахунку, карнизний вузол.

### Abstract:

The basic methods of calculating curved frames of laminated wood.. The analysis and comparison of methods with the classical theory of strength of materials. The graphs compare methods for determining the stresses in the cornice node bent laminated frames with different radius curvature on the example of an industrial building frames span of 12, 15 and 21 m.

Keywords: Laminated wood, curved frames, methods of calculating, cornice node.

УДК 624.011

к.т.н., доцент Михайловський Д.В., Заєць Р.В., Чубарев А.Г.,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## ДЕРЕВИНА - СУЧАСНИЙ БУДІВЕЛЬНИЙ МАТЕРІАЛ

*Розглянуто проблеми та перспективи використання конструкцій з суцільної, клеєної деревини та клеєного шпону в будівництві. Обґрунтовано необхідність розвитку індустріальної бази по виготовленню сучасних конструкцій з клеєної деревини та клеєного шпону.*

*Ключові слова: Клеєна деревина, клеєний шпон, конструкції з клеєної деревини, великопрольотні конструкції, індустріальна база.*

Майже третина земної поверхні не зайнятої водоймами вкрита лісами з загальним запасом деревини біля 300 млрд. м<sup>3</sup>. Щорічні об'єми заготівлі деревини складають 2,6 млрд. м<sup>3</sup>, що вдвічі перевищує виробництво сталі і цементу та в 27 разів пластиків. Щорічний приріст деревини становить від 7 до 9 млрд. м<sup>3</sup> [1]. Приведені данні говорять про великі резерви для подальшого застосування деревини як одного з основних будівельних матеріалів.

Не дивлячись на те, що Україна займає шосте місце в Європі по запасам деревини, у сучасній будівельній індустрії дерев'яні конструкції не настільки розповсюджені.

За десять останніх років об'єми виробництва пиломатеріалів в Україні скоротились із 2,2 млн. м<sup>3</sup> у 2003 р. до 1,4 млн. м<sup>3</sup> у 2013-му, тобто на 65%. Виробництво не обрізних пиломатеріалів та чорнових заготовок за 2003-2013 рр. збільшилося в два рази і досягло 3,4 млн. м<sup>3</sup>.

Виробництво фанери також демонструє хороші темпи зростання, досягнувши свого максимуму 178,9 тис. м<sup>3</sup> у 2013 р. Найменше фанери за останнє десятиріччя виготовляли у кризовому 2009 р. - 109 тис. м<sup>3</sup>.

Виробництво основного конструкційного матеріалу для меблів, деревинностружкових плит (ДСП) нарощувало об'єми з 2003 по 2008 рр. збільшивши у 2,3 рази, сягнувши у 2008-му 1,6 млн. м<sup>3</sup>. Проте у 2009 р. це виробництво зменшилося на 20,1%, зупинившись на рівні 1,3 млн. м<sup>3</sup>. У 2013 році спостерігається незначне зростання виробництва деревинностружкових плит до обсягу - 1,4 млн. м<sup>3</sup>. При цьому треба зазначити, що в 2010 році введено в експлуатацію завод по виготовленню ДСП потужністю 200 тис. м<sup>3</sup> на рік.

Виробництво шпону аналогічне фанерному. Об'єми виробництва за десять років практично не змінились: 43,5 тис. м<sup>3</sup> у 2003 р. і 42,9 тис. м<sup>3</sup> у 2013-му.

Деревині на Русі здавна віддавали особливу шану. До нього зверталися в самих різних випадках: "Свято дерево, допоможи". І дерево, слухаючи прохання-благання, допомагало. Велика енергетична сила зосереджена в деревах. Сьогодні це підтверджується і наукою, а наші прашури чистим своїм серцем відчували це і тому дерев'яні споруди дуже любили: від них добрий дух виходив.

До сьогодні ми можемо побачити в основному пам'ятники архітектури і зразки традиційного житла кінця XIX сторіччя. На відміну від житла або пам'яток дерев'яного храмового будівництва, великі хорони або палаци до нас, на жаль, не дійшли, за винятком випадково уцілілих садибних будівель, що в основному, знаходяться сьогодні в жахливому стані. Відомості про більш ранні періоди формування дерев'яної архітектури ми отримуємо з археологічних матеріалів, картин знаменитих художників чи історичних рукописів.

Завдяки своєму широкому розповсюдженню, легкості видобування і обробки, біологічній стійкості, екологічності, відносно малій густині при досить великій міцності, естетичним властивостям - деревина була і залишається одним з найкращих будівельних матеріалів. Однак деревина, як і інші будівельні матеріали, має свої суттєві недоліки. При проектуванні необхідно максимально використовувати позитивні якості деревини, зменшуючи вплив негативних факторів (таких як: обмеженість сортаменту пиломатеріалів, анізотропію будови, небезпеку займання та загнивання), з метою отримати ефективне застосування дерев'яних конструкцій для певних умов будівництва і експлуатації.

Розвиток застосування деревини як будівельного матеріалу напряму пов'язаний з застосуванням конструкцій з клеєної деревини (ККД), в яких можна максимально зменшити вплив природних вад деревини. І хоча використання ККД в Україні почалось ще в 30-ті - 40-ві роки минулого сторіччя, в сучасній будівельній індустрії ці конструкції застосовуються дуже рідко. В розвиток ККД значний внесок зробили відомі вчені Г.Г. Карлсен, А.Б. Губенко, А.С. Белозерова, М.Е. Коган, Н.Д. Поспелов, Ю.И. Никифоров та інші. Але при відсутності якісних синтетичних водостійких клеїв, недосконалостей технології виготовлення та з ряду інших причин в ті роки ККД не набули широкого розповсюдження [2].

В усьому світі, з кожним роком, ККД набувають широко розповсюдження в будівлях та спорудах різноманітного призначення [3]. Застосування ККД дозволяє зменшити вагу несучих конструкцій в порівнянні з аналогами з збірного залізобетону майже в 5 разів а трудомісткість монтажу більше ніж в 2 рази.

Найбільшого застосування ККД мають як прольотні конструкції для перекриття великих (30-36 м) та дуже великих (більше 50 м) прольотів. Це кінотеатри, криті ринки, басейни (рис. 1, а), аквапарки, виставкові та спортивні зали (рис. 1, б), легкоатлетичні манежі, конно-спортивні споруди, складські будівлі з хімічно агресивним до металу та бетону середовищем тощо. Експлуатаційна надійність та довговічність ККД в агресивному середовищі діючих калійних підприємств вже перевищує 40 років, що значно більше аналогічних конструкцій з залізобетону та сталі.



а)



б)

Рис. 1. Сучасні конструкції з клеєної деревини (ККД)

а) басейни; б) спортзал

В 1935 р. в лабораторії Федерального Лісництва США було створено технологію виготовлення матеріалів з клеєного шпону (Ultralam) або LVL. Назва походить від англійського Laminated Veneer Lumber (брус з клеєного шпону). LVL виготовляють клейовим з'єднанням шарів шпону, товщиною від 2 до 3 мм, хвойних порід деревини (сосна, ялина). На відміну від простої фанери волокна сусідніх шарів розташовуються паралельно один одному. LVL - матеріали виробляються у вигляді різного розміру плит і бруса. Конструкційні LVL - матеріали можна обробляти не тільки у виробничих умовах, а й прямо на будмайданчику.

Спочатку LVL використовувався для виробництва пропелерів літаків та інших високоміцних авіаційних деталей під час другої світової війни. У 1970-і рр. засновники компанії Trus Joist International (зараз - підрозділ iLevel компанії Weyerhaeuser, США) Арт Траутнер і Герольд Томас стали використовувати клеєний шпону для виготовлення двотаврових балок для будівельних конструкцій (балки покриття та перекриття, ферми тощо) [4]. Одними з найяскравіших прикладів використання конструкцій з LVL є «The Metropol Parasol» в Севільї, Іспанії (рис. 2) і стоїчно-ригельна система «Aviation Display Hall» в Новій Зеландії (рис. 3).



Рис. 2 «The Metropol Parasol», Севілья, Іспанія



Рис. 3 «Aviation Display Hall», Нова Зеландія

Не можна забувати і про застосування клеєної деревини в якості будівельного матеріалу при виготовленні зрубу (рис. 4). При зведенні будинку з масивної цільної деревини природної вологості потрібен суттєвий час щоб матеріал висох і дав остаточну усадку, і тільки після того можна приступати до виконання опоряджувальних робіт з застосуванням ущільнювачів та обшивок. Уникнути цього дозволяє використання бруса з клеєної деревини за рахунок технології виготовлення із застосуванням сухого пиломатеріалу. Усадка клеєного бруса не перевищує 1%, що дає можливість значно зменшити скоротити термін зведення будинку "під ключ".

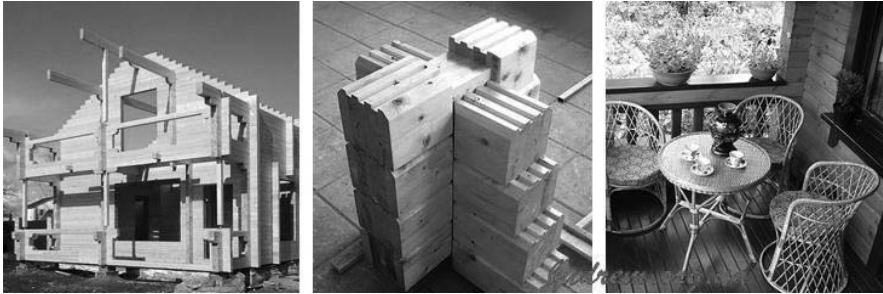


Рис. 4. Застосування клеєного брусу для виготовлення зрубів

При виготовленні ККД в основному застосовують деревину сосни та ялини. Перед склеюванням окремі дошки (ламелі) ретельно просушують до вологості 7-9%. Після чого матеріал перевіряють на наявність сучків, тріщин, гнилі тощо. Сучасне обладнання дозволяє вирізати ділянки з вадами і зрощувати окремі дошки за допомогою клею на зубчастий шип, чим досягається будь-яка довжина ламелі. Після того як дошки висушені їх обробляють антисептиками і антипіренами та стругають по першому класу. З цих добре висушених і струганих дошок без суттєвих вад на спеціальних пресах і склеюють елементи з клеєної деревини. Крім того, при склеюванні в єдиний елемент напрямок волокон деревини в ламелях задається в протилежно один від одного. Такий прийом дозволяє збільшити міцність елементів з клеєної деревини в порівнянні з цільною деревиною, та підвищує звукоізоляційні властивості.

Конструкції з клеєної деревини мають ряд суттєвих переваг над аналогічними з деревини цільної: - можливість використання пиломатеріалів нижчої якості; - більш раціональне використання стовбура деревини при розпилюванні, за рахунок зрощування коротких деталей; - можливість одержання елементів необхідних довжин та розмірів поперечного перерізу; - підвищення міцності; - можливість одержання елементів різноманітної форми (гнутоклеєні елементи тощо).

Суттєвим недоліком впровадження ККД є застаріла та недосконала нормативна база а також відсутність навчально-методичної літератури по проектуванню і виготовленню цих конструкцій. Ще нещодавно в Україні були чинними розроблені ще в 80-х роках минулого сторіччя радянські нормативні документи (СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции», ГОСТ 20850-84 «Конструкции деревянные клеёные. Общие технические условия» тощо.) В 2011 році в Україні введений в дію ДБН В.2.6-161:2010 "Конструкції будівель і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення" [5], який фактично

виявився не зовсім якісним перекладом EN 1995-1-1:2010 «Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд». Однак інженерна громадськість ще не була готова до прийняття Єврокоду 5, бо цей процес вимагає введення великої кількості додаткових супутніх нормативних документів, без яких використання ДБН В.2.6-161:2010 є фактично неможливим. В наступному 2012 році додатково введений ДСТУ –Н Б EN 1995-1-1:2010 [6], що фактично дублює ДБН В.2.6-161:2010. В 2013 році на перехідний період вводяться в дію ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012 [7], які фактично базуються на СНиП II-25-80 з суттєвою переробкою та гармонізацією з Європейськими нормами проектування. Абсолютно неохопленим нормативною літературою залишається такий сучасний матеріал як клеєний шпон або Ultralam (Ультралам) та багато інших питань.

З виробництвом ККД в Україні також великі проблеми. Жодного промислового виробництва за часи незалежності так і не організовано. Ті підприємства, що працювали за радянських часів, в занедбаному стані. Враховуючи що при виготовленні ККД важливе значення має забезпечення необхідного температурно-вологісного режиму в приміщеннях цехів, правильний технологічний процес, суворе дотримання режимів сушки пиломатеріалів та склеювання конструкцій, контроль якості на всіх етапах. Виготовлення ККД рентабельне лише на спеціалізованих підприємствах (рис. 4) які включають в себе і деревообробні комбінати, що дозволить раціонально використовувати пиломатеріали, обладнання та кваліфікованих робітників, знизити накладні витрати. Спроби організувати виробництво ККД в кустарних умовах на мілких виробництвах без сушильних камер та відповідного контролю якості призводять до дискредитації конструкцій, які через невеликий термін експлуатації починають розшаровуватись по клейовим швам. Досвід експлуатації ККД показав, що однією з причин їх аварій стала низька якість клейових стиків дошок по довжині на зубчастий шип [8], в поєднанні з розміщенням цих стиків в одному перерізі елементу. Міцність зубчастих шипів для зрошування дошок по довжині залежать від якості фрезерування шипу, тиску заpresовки, способу нанесення клею, в'язкості клею та ряду інших технологічних факторів. При масовому виробництві співпадіння розташування стиків в одному поперечному перерізі елементу дуже низька із-за випадковості довжини первинних заготовок. Але при невеликих обсягах виробництва необхідно контролювати кількість стиків шарів в клеєному пакеті (не більше 25%).

При виготовленні ККД використовують пиломатеріали переважно 2-го та в невеликих обсягах 3-го (в середній - нейтральній зоні поперечного перерізу конструкцій) сорту. Товщина шарів після острожки для прямолінійних

елементів та криволінійних з великим радіусом кривини (більше 5м) повинна становити 33-34мм, для гнутоклеєних елементів - 16-24мм.

Спершу в ККД широко застосовувався фенолформальдегідний клей марки КБ-3 як найдешевший і достатньо надійний при дотриманні всіх вимог технологічного процесу. Досвід експлуатації довів, що навіть незначні відступи від необхідних технологічних режимів його виготовлення та застосування в процесі експлуатації призводить до появи розшарувань по клейовим швам конструкцій, і, як наслідок, зниженню їх надійності та довговічності. Значно краще експлуатується конструкція склеєна за допомогою клеїв ФР-100 и ФРФ-50.



Рис. 5. Завод по виготовленню ККД

За результатами випробувань [9] найкращі показники міцності клейових з'єднань по пласті досягаються при нанесенні клею на обидві поверхні що склеюються, але майже завжди застосовують однобічне нанесення клею за допомогою спеціального обладнання. Застосування імпорتنих двокомпонентних клеїв з роздільним нанесенням спочатку затверджувача а потім смоли дозволяє суттєво спростити технологічний процес. Змішування компонентів клею відбувається в основному при запресовці багатoshарового клеєного пакету в пресі. (рис. 6)

Взагалі, розшарування по клейовим швам - найбільш характерні дефекти та пошкодження ККД. Зазвичай розшарування зустрічаються поблизу опорних вузлів в середній частині перерізу конструкцій, а також в арках в місцях появи радіальних напружень розтягу поперек волокон.

Економічна ефективність застосування ККД в будівництві залежить від багатьох факторів, вирішальним з яких є собівартість виготовлення, що визначається вартістю сировини, витратами на заробітну платню, рівнем накладних витрат та іншими показниками. На вартість ККД може вплинути



навіть невіддале призначення проектувальниками ширини перерізу елементів без врахування сортаменту пиломатеріалів. Для прикладу, при закладанні в проєкті ширини елементу в 150мм необхідно враховувати той фактор, що з урахуванням припусків на механічну обробку бічних поверхонь, заготовочний блок слід виготовляти з дощок мінімальною шириною 160мм, а це призводить до збільшення вартості виготовлення на 30% завдяки надбавці на "спецнапил", тому що в сортаменті пиломатеріалів дощок шириною 160 мм не існує. З врахування середнього діаметру круглих лісоматеріалів ширину поперечного перерізу бажано призначати ширину поперечного перерізу елементу не більше за 140мм.



Рис. 6. Запресовка багатощарового пакету

Для великопрольотних конструкцій рекомендується застосовувати спарені перерізи (складені з двох-трьох гілок) що встановлюються на один фундамент, або зменшувати крок несучих конструкцій. Однак слід зазначити що склеювання по ширині досить складний технологічний процес, який збільшує вартість конструкції на 30%.

На сьогодні дерев'яне будівництво міцно займає свою вже досить велику нішу. Поява в останні роки різноманітних виставок по дерев'яному житловому будівництву з великою кількістю фірм-учасників є міцним підтвердженням збільшеному інтересу до теми дерев'яного зодчества.

Сучасні дерев'яні будинки зведені за останнім словом техніки з використанням досягнень сучасної промисловості, з застосуванням найкращих світових технологій з обробки деревини і роботи з ним, перетворились в казкові, міцні і красиві, затишні і добротні, "живі" будинки.

Слід зазначити, що ККД вимагають до себе більшої уваги по догляду, на відміну від традиційних конструкцій зі сталі чи бетону. Їх застосування найбільш ефективно в індивідуальних проєктах спортивних, виставкових та