

УДК 624.011

## **З'єднання на похило вклеєних сталевих стрижнях у конструкціях із клеєної деревини**

**Кліменко В.З., к.т.н.**

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

**Анотація.** Це з'єднання значною мірою дозволяє практично вирішувати проблему з'єднань великорозмірних масивних елементів у конструкціях із клеєної деревини з дотриманням принципу збалансованої міцності всіх частин конструкції. Досягається це завдяки переходу з'єднання, як технічної системи, на мікрорівень будови деревини з ефективним використанням глибинних ресурсів міцності матеріалу.

**Аннотация.** Это соединение в значительной мере позволяет практически решить проблему соединения крупноразмерных массивных элементов в конструкциях из клееной древесины при соблюдении принципа сбалансированной прочности всех частей конструкции. Достигается это благодаря переходу соединения, как технической системы, на микроуровень строения древесины с эффективным использованием глубинных ресурсов прочности материала.

**Abstract.** This connection allows solving practically the problem of connecting large-scale bulk items in the construction of glued timber, ensuring a balanced strength of all parts of the structure. It is achieved thanks to a shift of compounds as a technical system to micro-level structure of timber with the effective use of resources underlying strength of the material.

**Ключові слова:** з'єднання, похило вклеєні стрижні.

**Характеристика нового виду з'єднання.** У великопрогонових конструкціях з клеєної деревини (ККД), як технічних системах, з'єднання виконують важливу системоутворюючу функцію як підТС. У згаданих конструкціях з'явилася проблема забезпечення міцності (надійності) з'єднань окремих елементів у вузлах і в опорних частинах конструкцій, також своєрідних підТС (підсистем).

Досвід застосування ККД засвідчив, що однією з причин їхньої відмови виявилися вузлові з'єднання: наприклад, зубчастий шип на клею у карнизних вузлах прямолінійних рам; анкерне кріплення колон до фундаментів із використанням дерев'яних накладок на клею; укрупнювальні вузли елементів із застосуванням традиційних механічних з'єднань тощо. Фахівці сформулювали правила нової концепції проектування ККД [1], складовою якої став принцип збалансованої міцності окремих підТС складної ТС. Успішне вирішення принципу збалансованої міцності частин конструкцій стало практично можливим із впровадженням у ККД з'єднань на похило вклеєних стрижнях, які отримали назву – з'єднання системи ЦНИИСК [2]. На рис. 1 і рис. 2 показані приклади з'єднань у різних

спорудах. Ці з'єднання експериментально досліджені у ЦНІІСК ім. В.А. Кучеренко і дані рекомендації з їх розрахунку. На заміну згаданих вище з'єднань запропоновані такі: карнизний вузол рам – Г; кріплення колони до фундаменту – А; укрупнення балки – Б; укрупнення вант – Д (див. рис. 1).

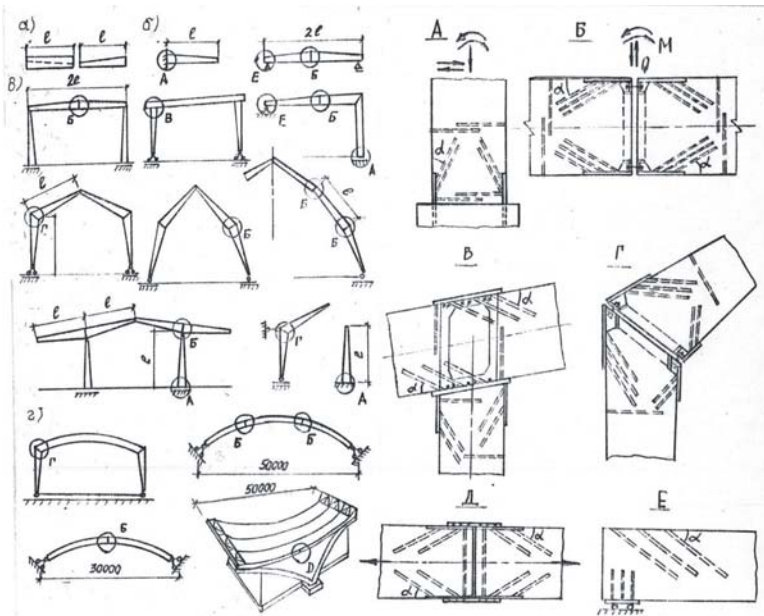


Рис. 1. З'єднання на похило вклеєних стрижнях:

- а – заготовка і схема розпилювання; б – консольна балка; в – схеми рам;
- г – конструкції з криволінійних елементів; А – жорстке кріплення колони до фундаменту; Б – укрупнювальний вузол; В – вузол обпирання ригеля на колону;
- Г – карнизний вузол рами; Д – стик вант; Е – опорна частина балки

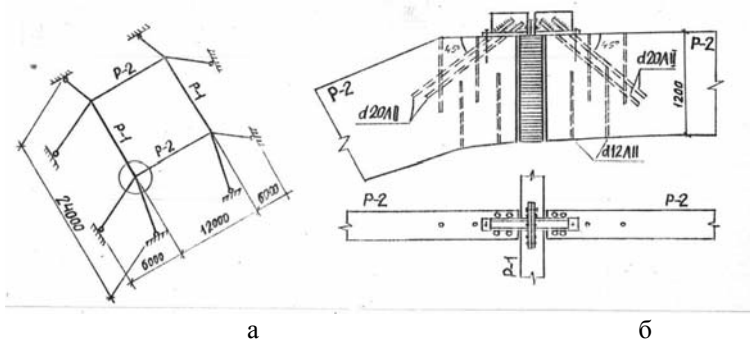


Рис. 2. Просторова рама (а) та жорсткий вузол рами (б)

Новим у концепції проектування ККД є конструктивне підсилення на ділянках реалізації складного напруженого стану матеріалу, наприклад: опорних частин прямолінійних балок (рис. 1,Е); середньої за довжиною криволінійних балок зони, де діють максимальні радіальні напруження розтягу впоперек волокон деревини (рис. 3,а); карнизних вузлів гнутоклеєних рам, де виникають значні за величиною радіальні напруження стиску впоперек волокон деревини (рис. 3,б). При великих прогонах рам з'явилися пропозиції навіть влаштування вант натягування (рис. 3,в).

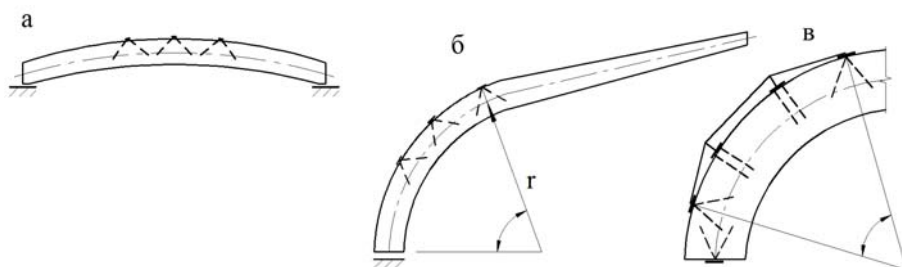


Рис. 3. Конструктивне підсилення криволінійних балок (а) і гнутоклеєних рам (б)

**З'єднання з позиції філософії техніки.** У філософії техніки системою прийнято називати множину взаємопов'язаних елементів, завдяки яким вона спроможна виконувати корисні функції за своїм призначенням. Елементи, що становлять систему (ТС), називаються підсистемами (підТС). Вони, у свою чергу, є системами для своїх підсистем і т.д., тобто складаються ієрархічні рівні підТС. Наприклад, вузол А на рис. 1 як самостійна система (а вона є підТС у складній системі – рамному поперечнику споруди) складається з таких підсистем: похилі стрижні, клеєний прошарок між стрижнями і деревиною в отворах; зварні шви між стрижнями і анкерними листами; самі анкерні листи; поперечні стрижні.

Невеличкий екскурс у філософію техніки зроблено з метою згадати об'єктивні закони розвитку технічних систем (ЗРТС), яким підпорядковуються в своїй еволюції як ТС, так і підТС різного ієрархічного рівня. З позиції ЗРТС [3] з'єднання на похило вклеєних стрижнях можна вважати еволюційно-прогресивним порівняно із з'єднанням на стрижнях, вклеєних уздовж чи поперек волокон деревини, які наведені в нормах проектування дерев'яних конструкцій. Саме в тому, що стрижні в новому типі з'єднання встановлені під кутом до волокон деревини, полягає його «революційність», оскільки в цьому відбивається один із ЗРТС: закон переходу ТС на мікрорівень. Фізична суть його полягає у все більшому використанні резервів міцності глибинних рівнів будови матеріалу, в даному випадку – деревини. Згідно з [4], резерви міцності деревини слід шукати на рівні її мікробудови. Розглянемо це

твердження на прикладі оптимального кута нахилу стрижнів у відповідності з мікробудовою деревини сосни. Це погляд на еволюційність з'єднання з позиції філософії техніки. З іншого боку, демонстрація переходу підТС (клеєного прошарку між стрижнями і деревиною) на молекулярний рівень із використанням адгезійних сил. В одній зі своїх статей [5] автор наважився охарактеризувати ці обставини, як ознаки нанотехнології в ККД.

**Фізична суть з'єднання.** Вивчення опору деревини повинно вестись на рівні її мікробудови. Резерви її міцності слід шукати на основі аналізу механічних властивостей мікро- і субмікроструктури. Таке твердження міститься в підручнику [6]. Професор Іванов О.М. вважав [7], що деревина є складною просторовою системою, основу якої складають кристалічні ґрати целюлози і аморфні речовини, які відіграють роль в'язей між ґратами. Таке уявлення про деревину міститься в [8], де структурні елементи будови деревини – мікрофібрили замінені еквівалентним стрижнем і отримана просторова система, що імітує стінку клітини сосни. В дослідженні [8] вивчалася міцність деревини під дією різних сполучень дотичних і нормальних напружень у просторовій розрахунковій стрижневій системі, яка замінює стінки клітин ранньої деревини. В річних шарах рання деревина займає 70–75 % їхньої товщини, а решту – пізня деревина, яка значно міцніша, порівняно з деревиною ранньою. Для більш коректного представлення стінок клітин розрахунковою стрижневою системою вона повинна складатися з двох еквівалентних стрижнів, одним з яких імітується рання деревина, а іншим – пізня деревина. Так зроблено автором у дослідженні оптимального кута нахилу стрижнів до волокон деревини. Для уявлення розрахункових еквівалентних стрижневих систем слід згадати будову деревини сосни на рівні її субмікроструктури.

Стінки клітин<sup>2</sup> сосни складаються з первинної тонкої оболонки і значно товстішої вторинної оболонки. Остання складається з трьох шарів  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ , при цьому шари  $S_1$  і  $S_3$  дуже тонкі і містять дуже мало деревної речовини – фібрил. Середній шар  $S_2$  становить до 85 % товщини всієї стінки клітин і головним чином визначає міцність деревини. Саме шар  $S_2$  стінки клітини замінився стержневою системою.

---

<sup>2</sup> Термін «клітина» для визначення структурного елемента будови рослини вперше був запропонований Р. Гуком, коли він удосконалював власну конструкцію мікроскопа.

Використавши дані з [9] стосовно кутів нахилу спіральних мікрофібрил у вторинних шарах клітин ранньої і пізньої деревини сосни, відповідно  $\nu_p = 29,2^\circ$  і  $\nu_n = 17,3^\circ$ , автор отримав еквівалентні стрижневі системи, наведені на рис. 4.

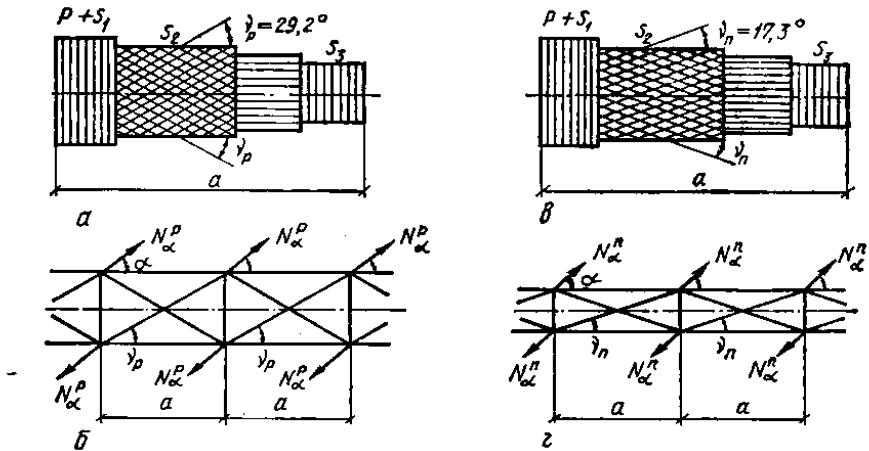


Рис. 4. Еквівалентні стрижні і розрахункові схеми стрижневих систем:  
а, в – напрямок мікрофібрил в еквівалентних стрижнях,  
які імітують відповідно ранню і пізню деревину;  
б, г – розрахункові схеми стрижневих систем відповідно  
ранньої і пізньої деревини сосни

Напрямок сумарного максимального руйнівного зусилля  $N_\alpha^{\max} = N_\alpha^p + N_\alpha^n$  знаходиться у діапазоні, який обмежений напрямками складових зусиль  $N_\alpha^p$  і  $N_\alpha^n$ , тобто  $17,3^\circ \leq \alpha_{omn} \leq 29,2^\circ$ .

$$\sin \alpha_{omn} = (0,3 \dots 0,25) \sin 17,3^\circ \dots (0,7 \dots 0,75) \sin 29,2^\circ. \quad (1)$$

Вважаючи ранню і пізню деревину рівножорсткими, напрямок сумарного зусилля  $N_\alpha^{\max}$  можна знайти як геометричне рівнодіюче напрямків складових  $N_\alpha^p$ ,  $\alpha_{omn}$  і  $N_\alpha^n$ , кількісно визначивши їх пропорційно площинам ранньої і пізньої деревини в річних шарах:  $N_\alpha^p = (0,7 \dots 0,75) N_\alpha^{\max}$  і  $N_\alpha^n = (0,3 \dots 0,25) N_\alpha^{\max}$ . Тоді  $\alpha_{omn} = 26,05 \dots 25,51^\circ$  і можна прийняти  $\alpha_{omn} = 26^\circ$ .

**Розрахунок з'єднання.** На рис. 5 наведені експериментальні результати досліджень міцності з'єднань на похило вклеєних до напрямку волокон деревини стрижнях.

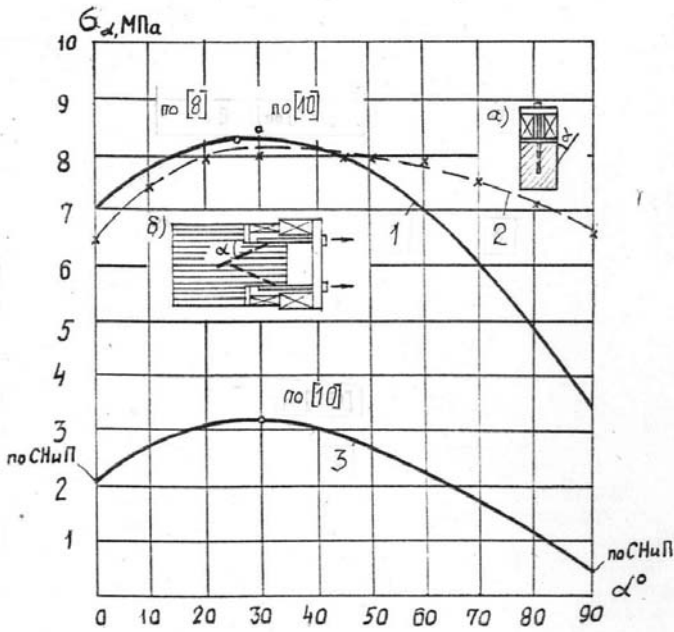


Рис. 5. Залежність напружень руйнування  $\sigma_{\alpha}$  від кута нахилу стержня:  
а – зразок за [8]; б – зразок за [10]; 1, 2 – експериментальні залежності;  
3 – за СНиП

У дослідженнях [8] та [10] максимальні напруження  $\sigma_{\alpha}$  знаходяться в межах кута  $\alpha = 20 \dots 40^{\circ}$ . Абсолютного максимуму  $\sigma_{\alpha}$  за [10] досягають при  $\alpha = 26^{\circ}$  (експериментальна точка показана кружечком).

Крива 5 апроксимована рівнянням

$$\sigma_{\alpha} = 3,5 + 4,2 \sin \alpha \cos \alpha + 3,6 \cos \alpha. \quad (2)$$

Якщо замінити межі міцності, отримані з експерименту, при  $\alpha = 0^{\circ}$  і  $\alpha = 90^{\circ}$  на розрахункові опори  $R_{\text{ск}} = 2,1$  МПа при  $\alpha = 0^{\circ}$  і  $R_{p,90} = 0,35$  МПа для клеєної деревини при  $\alpha = 90^{\circ}$ , тобто вважати, що при  $\alpha = 0^{\circ}$  руйнування відбувається від сколювання вздовж волокон, а при  $\alpha = 90^{\circ}$  – від розтягу поперек волокон, можна отримати залежність розрахункового опору клеєної деревини  $R_{\alpha}$  в з'єднаннях із похило вкесеними стрижнями

$$R_{\alpha} = 0,35 + 3,5 \sin \alpha \cos \alpha + 1,8 \cos \alpha. \quad (3)$$

Рівняння (3) запропоновано автором для визначення розрахункової несучої здатності вклеєного під кутом до волокон деревини стрижня з арматурної сталі на висмикування в з'єднаннях елементів конструкцій із клеєної деревини (за типами, показаними на рис. 1)

$$T = R_{\alpha} \pi (d + 0,005) l, (MN), \quad (4)$$

де  $d$  – номінальний діаметр стрижня, м;  $l$  – довжина стрижня, м.

### **Література**

- [1] Клименко В.З. Проектирование современных конструкций из клееной древесины на принципах новой концепции / В.З. Клименко, А.Я. Найчук, В.В. Фурсов, Д.В. Михайловський. – К.: Сталь, 2010. –24 с.
- [2] Турковский С.Б. Обобщение результатов исследований и опыта применения сборных клееных деревянных конструкций системы ЦНИИСКа / С.Б. Турковский // Деревообрабатывающая промышленность, 2008. – № 3. – С. 12–16.
- [3] Кліменко В.З. Будівельна біоніка. Закони розвитку технічних систем. Будівельні конструкції / В.З. Кліменко // К.: Сталь, 2010. –297 с.
- [4] Большаков В.В. Развитие конструкций из дерева и пластмасс / В.В. Большаков // Изв. вузов. стр-во и архитектура, № 10. – 1987.
- [5] Клименко В.З. Нанотехнологии в клееной древесине / В.З. Клименко, В.К. Вертецкий // Строительные материалы и изделия. – 2010. –№ 4. – С. 11–13.
- [6] Конструкции из дерева и пластмасс [учебник] / Слицкоухов Ю.В., Буданов В.О., Гаппоев М.М. и др. – М.: Стройиздат. – 1986. – 542 с.
- [7] Иванов А.М. Ползучесть древесины. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Воронеж. 1957.
- [8] Освенский Б.А. Скалывание и раскалывание в деревянных конструкциях / Б.А. Освенский // В Сб.: Исслед. Прочности и деформативности элементов конструкций из древесины, строит. фанеры и стеклопластика АГ-4С. – МИСИ им. В.В. Куйбышева, № 169. – М.: 1978. – С. 3–65.
- [9] Баженов В.А. К вопросу о линиях скольжения во вторичном слое клеточных оболочек / В.А. Баженов // Труды института леса АН СССР. – 1949. – Т. IV.
- [10] Турковский С.Б., Саяпин В.В. Исследование монтажных узловых соединений клееных деревянных конструкций / С.Б. Турковский, В.В. Саяпин // В кн.: Несущие деревянные конструкции. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко. – 1981. – С. 92–105.

*Надійшла до редколегії 05.12.2011 р.*