

УДК 624.011

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

**Кліменко В.З.**, к.т.н.

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

**Анотація.** Нагельне з'єднання на вклеєних стрижнях із арматурної сталі є еволюційним порівняно з традиційним нагельним з'єднанням на гладких циліндричних нагелях, які приводились в нормах проектування дерев'яних конструкцій. Несуча здатність нового типу з'єднання підвищується, по-перше, завдяки використанню для нагелів арматурної сталі, по-друге, внаслідок появи клеєного прошарку між нагелем і деревиною по всьому периметру отвору зростає опір деревини за рахунок включення в роботу розтягнутої зони навколо отвору.

**Аннотация.** Нагельное соединение на клеенных стержнях из арматурной стали является эволюционным по сравнению с традиционным нагельным соединением на гладких цилиндрических нагелях, которые приводились в нормах проектирования деревянных конструкций. Несущая способность нового типа соединений повышается, во-первых, благодаря применению для нагелей арматурной стали, во-вторых, вследствие появления клеевой прослойки между нагелем и древесиной по всему периметру отверстия увеличивается сопротивление древесины за счет включения в работу растянутой зоны вокруг отверстия.

**Abstract.** Nog connection to bonded rods of reinforcing steel is an evolution compared to the traditional nog compound on smooth cylindrical pins, which are cited in the rules of the design of timber structures. The new type of compounds increases carrying capacity, first, through the use of reinforcing steel for pins, and secondly, in consequence of the appearance of the adhesive layer between nog and timber around the perimeter of the hole increases the resistance of timber to include extended work area around the hole.

**Ключові слова:** нагельне з'єднання, вклеєні арматурні стрижні.

**Стан питання.** Пошуки нових більш ефективних рішень вузлових з'єднань у дерев'яних конструкціях великих прогонів із клеєної деревини привели до створення з'єднання на вклеєних нагелях з арматурної сталі. Окремі експериментальні дослідження, наприклад [1], свідчили про зростання несучої здатності при зменшенні деформативності з'єднань елементів дерев'яних конструкцій на вклеєних нагелях порівняно з традиційними з'єднаннями на невклеєних циліндричних нагелях із круглої сталі. Методики розрахунку нового виду з'єднання запропоновано не було. На кафедрі дерев'яних конструкцій (в ті часи КІБІ) були виконані наукові дослідження цього виду з'єднання, які завершилися розробленням методики його розрахунку [2]<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Дослідження виконані під науковим керівництвом автора статті.

Для встановлення характеру деформування деревини в отворі з гладким несклеєним циліндричним нагелем були проведені дослідження [3] із застосуванням поляризаційно-оптичного методу і фотопружних покриттів. Було встановлено, що деформації деревини в напрямку дії поперечного до осі нагеля зусилля відбуваються тільки в стиснутій зоні. В розтягнутій зоні спостерігається відрив нагеля від нагельного отвору. Контактна поверхня в стиснутій зоні між нагелем і отвором, яка визначається кутом обхвату становить не  $180^{\circ}$ , як уявлялось, а менше [4]. Міцність традиційного нагельного з'єднання за умови опору деревини навколо отвору визначається тільки опором деревини на стиск. Таким чином знаходилась несуча здатність традиційного з'єднання в нормах проектування з урахуванням середнього опору деревини стисканню між опором уздовж волокон і опором під кутом, близьким до  $90^{\circ}$ .

**Фізична природа з'єднання на вклеєних нагелях.** На початку дослідження нового виду з'єднання також застосувався метод фотопружності. В отвір  $d = 18$  мм зразка – пластини з чистої деревини сосни на епоксидному клею ЕПЦ-1 – було вклеєно нагель з арматурної сталі періодичного профілю номінальним діаметром 16 мм. Для виключення впливу згину нагеля на деформацію деревини в отворі товщина пластини призначена була рівною діаметру отвору. Оптично чутливе покриття навколо нагеля у вигляді шару завтовшки 1,6 мм являло собою тонку пластинку зі смоли ЕД-20, яка наклеювалась на зразок також епоксидним клеєм, до якого додавалась алюмінієва пудра, завдяки чому утворювався відбиваючий шар.

Картини смуг на оптично чутливому покритті показали, що деформації деревини відбуваються в зоні з'єднання з боку, що протилежний зоні стискання під нагелем. Кут обхвату контактної поверхні розповсюджується на увесь периметр нагельного отвору і становить  $360^{\circ}$  [4]. В новому виді з'єднання в роботу залучається значно більший об'єм деревини навколо отвору. Кількісна оцінка цього фізичного факту в початковому дослідженні з'єднання не виконувалася. Справа в тому, що жорсткість оптично чутливого покриття чинить підкріплюючий ефект, який особливо виявляється в анізотропній деревині на ділянках навколо отвору, на яких деформація деревини відбувається з усе більшим кутом до напрямку волокон аж до попереку волокон. Тому для більшої «чистоти» дослідження нового виду з'єднання були застосовані голографічні методи [5, 6, 7], позбавлені зазначеного ефекту.

**Еволюційність з'єднання на вклеєних нагелях.** Автор вважає, що в наукових роботах від статті до монографії і у дисертаціях повинні розглядатись питання філософії техніки, доречні в контексті наукової роботи. Будівельні конструкції, вузли в конструкціях – це антропогенні

технічні системи різної ієрархії (ТС, підТС, підпідТС), які удосконалюються під впливом об'єктивних законів розвитку ТС [8], які є проявом у техніці загальних природничих діалектичних законів.

У технічній системі, яка є об'єктом статті, до підТС – нагель і нагельне гніздо з деревини, що оточує отвір, додалась нова підТС, яка суттєво змінила фізичне явище, що відбувається в новій ТС – з'єднанні на клеєних нагелях. Між нагелем і деревиною нагельного гнізда з'явилась підТС – прошарок із відмінними від деревини фізичними властивостями, внаслідок просочування деревини полімерною смолою.

Завдяки більшій жорсткості прошарку і адгезійного зчеплення його з нагелем і деревиною навколо отвору почав діяти закон розвитку технічних систем – закон переходу ТС на мікрорівень, під дією якого відбувається більше використання резервів міцності деревини. В новому нагельному з'єднанні ефективно проявляє себе речовий ресурс, завдяки залученню до опору зусилля від нагеля значно більшого об'єму деревини навколо нагеля.

Якісна різниця між фізичними явищами у традиційному і новому нагельному з'єднанні встановлена дослідженням зразків з'єднань методом голографічної інтерферометрії. Кількісна оцінка здійснена порівнянням результатів дослідження зразків з'єднань методом спекл-інтерферометрії.

**Дослідження з'єднань на клеєних нагелях.** Мета дослідження полягала у встановленні деформованого стану деревини навколо нагельного отвору. Зразки виготовлені з чистої деревини (рис. 1). Діаметр нагеля із гладкої сталі становив 16 мм, номінальний діаметр нагеля клеєного дорівнював 14 мм. Діаметри нагелів визначалися можливостями створення у силовій рамі зусиль  $P$  для отримання в деревині навколо отвору достатніх деформацій і чітких картин смуг при товщині зразків 26 мм і 34 мм. Випробування виконувалося з дотриманням Рекомендацій [9].

Дослідження проводилося на голографічній установці УИГ-2М, до складу якої входять оптична система, інтерференційний стіл і джерело когерентного світла – гелій-неоновий лазер типу ЛГ-38. Для забезпечення вібраційного захисту зразків силова рама з динамометром була змонтована безпосередньо на інтерференційному столі (рис. 2).

Поверхня зразків (на рис. 1 показана похилими лініями) оброблялась клеєм БФ-2, після чого напилювалося відбивне покриття з алюмінієвої пудри. Для запису голограм використовувалися високочутливі фотопластинки марки ВР-Л. Запис голограм здійснювався в колімірованому пучку світла лазера методом двох експозицій.

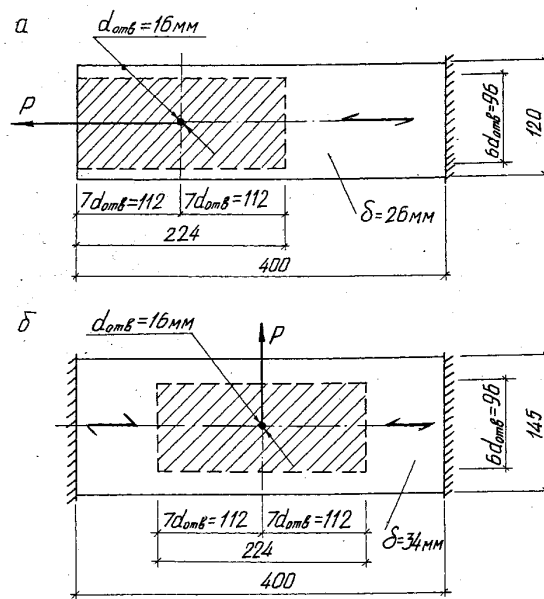


Рис. 1. Схеми зразків:  
а – при направленні зусилля від нагеля вздовж волокон деревини;  
б – те саме впоперек волокон деревини

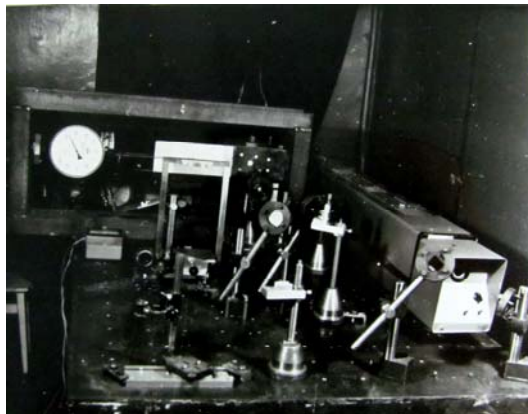


Рис. 2. Голографічна установка з силовою рамою

**Дослідження зразків з'єднань методом голографічної інтерферометрії.** Співставлення голографічних інтерферограм зразків, показаних на рис. 3, свідчить про те, що деформація деревини вздовж волокон у двох типах з'єднань принципово різна, особливо ця різниця помітна в зоні з'єднання, протилежній напрямку зусилля  $P$  (на рис. 3 праворуч від нагеля). В зразку



проводився з дотриманням того самого режиму навантаження на нагель, як і у випадку з гладким нагелем. Максимальне навантаження обмежувалося умовою розвинення пружних деформацій у деревині. Використання в зразках типів *a* та *b* (рис. 1) однієї пластини виключало вплив на результати дослідження деформованого стану деревини неоднорідності її будови, враховуючи розміри зразків. Зусилля на нагель утворювалося двома тяжами, розташованими симетрично з кожного боку зразка, і вимірювалося динамометром (на рис. 2 зразок розміщений у силевій рамі горизонтально).

У зразку з невклесним нагелем (рис. 3,а) характер смуг в обох зонах з'єднання різний. За рахунок підтримуючого ефекту в суцільному матеріалі в зоні з'єднання праворуч від нагеля відбуваються деформації, які швидко «затухають». При цьому вони не спостерігаються поблизу нагеля внаслідок перерізування волокон отвором і відсутності контактної шару, як в з'єднанні з вклесним нагелем, помітна концентрація деформацій, що демонструється двома кільцями навколо нагеля.

Слід зазначити, що спостерігається симетричність інтерференційних смуг при напрямку зусилля *P* вздовж волокон деревини, з деяким незначним порушенням симетрії в з'єднанні з невклесним нагелем.

Деформації деревини впоперек волокон у двох типах з'єднань різні в більшій мірі (рис. 4), ніж уздовж волокон. Це може бути пояснено тим, що навіть у зразках із чистої деревини проявляється масштабний фактор і вплив неоднорідності структури деревини. Однак наявність стиснутої і розтягнутої зон у з'єднанні з вклесним нагелем також спостерігається (рис. 4,б).

**Дослідження опору деревини в отворі.** Голографічними дослідженнями встановлено, що вклеювання нагеля викликає деформації як в стиснутій, так і розтягнутій відносно до нагеля зонах з'єднання. В зв'язку з цим замість поняття «зминання деревини в отворі» введено нове фізичне поняття – «опір деревини в отворі», яке характеризує інтегральний характер опору деревини  $R_{\text{отв}}$  в з'єднаннях з вклесними нагельми. Для встановлення цієї механічної характеристики деревини виконані випробування зразків із чистої деревини, показаних на рис. 5, за методикою [8].

У наведених на рис. 5 серіях зразків діаметри нагелів  $d_n = 14, 16, 18, 20$  мм, діаметри отворів відповідно 16; 18,5; 19,2; 22 мм.

Для оцінювання ефекту вклеювання нагеля дамо таке порівняння: опір деревини в отворі при напрямку зусилля вздовж волокон перевершував опір деревини на зминання в традиційному з'єднанні в 1,4 рази.

**Розрахунок нового типу з'єднання.** Отримані експериментальні дані апроксимовані формулами, які встановлюють залежність опору деревини в отворі від діаметра отвору  $d_{\text{отв}}$ , кута між напрямком зусилля від нагеля та напрямку волокон деревини  $\alpha$  і від відомої механічної характеристики деревини – міцності при стисканні вздовж волокон  $R_c$ :

$$R_{\text{отв.0}} = 1,33R_c (1 - 13,3d_{\text{отв}}); \quad (1)$$

$$R_{\text{отв.90}} = 0,65R_c (1 - 16,5d_{\text{отв}}); \quad (2)$$

$$R_{\text{отв.}\alpha} = \frac{1,76R_{\text{отв.0}}}{1,76 + \left( \frac{R_{\text{отв.0}}}{R_{\text{отв.90}}} - 1 \right) \alpha}, \quad (3)$$

де  $\alpha_{\text{отв}}$  в м;  $\alpha$  - в радіанах.

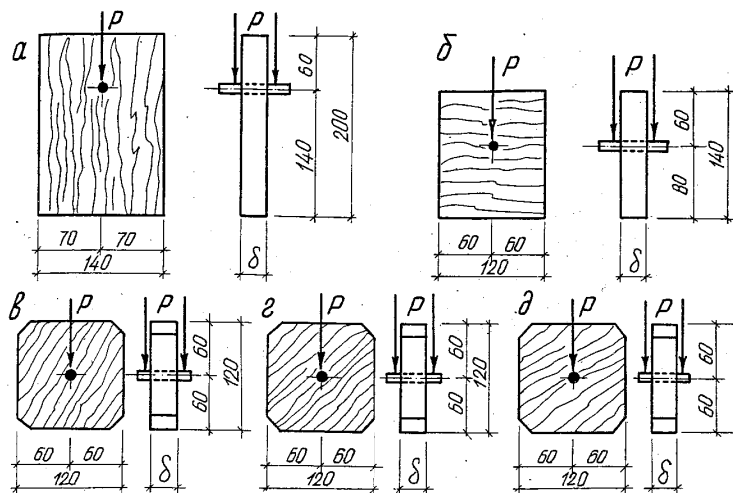


Рис. 5. Зразки для дослідження опору деревини в отворах з вклеєним нагелем:  
а – напрямок зусилля вздовж волокон;  
б, в, г, д – те саме впоперек і під кутом  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  до волокон деревини

Несуча здатність одного зрізу нагеля в симетричному з'єднанні приймається мінімальною за трьома умовами: в літерних позначеннях європейських норм EN5:

$$R_d = \min \begin{cases} f_{ct,\alpha,d} t_1 d_0 k_1; & (4) \\ f_{ct,\alpha,d} t_2 d_0 k_2; & (5) \\ \sqrt{f_{ct,0,d} f_t} d_{nom}^2 k_m. & (6) \end{cases}$$

У формулах (4), (5), (6) прийнято:  $f_{ct,\alpha,d}$  - розрахунковий опір деревини в отворі, який знаходиться за формулою (3);  $t_1$  і  $t_2$  - товщина відповідно крайнього і середнього елементів;  $d_0$  - діаметр отвору нагельного гнізда, в м;  $f_t$  - умовна межа плинності арматурної сталі;  $d_{nom}$  - номінальний діаметр стержня, в м;  $k_1, k_2, k_m$  - коефіцієнти, які залежать від співвідношення товщини з'єднувальних елементів і кута між ними.

### Література

- [1] Овчинникова И.Г. Узловые соединения элементов деревянных конструкций на клеенных нагелях / И.Г. Овчинникова, В.В. Королев // Реферативная информация ЦИНИС, серия 8, вып. 5, 1979. – С. 39-42.
- [2] Шевченко А.Е. Вклеенные нагели в соединениях элементов деревянных конструкций. Диссертация на соискание ученой степени е. т. н. – Киев: КИСИ. 1985. – С. 160.
- [3] Дмитриев П.А. Исследование смятия древесины в отверстиях с помощью оптически чувствительных покрытий / П.А. Дмитриев, В.А. Жилкин, Ю.Д. Стрижаков. // Изв. вузов, «Стр-во и архитектура», № 2, 1971. – С. 18-24.
- [4] Кліменко В.З. Еволюційний характер сучасної концепції проектування конструкцій з клеєної деревини / В.З. Кліменко // Зб. наук пр. Укрінстальконструкцій ім. В.М. Шимановського. – К.: В-во «Сталь», 2011. Вип. 8. – С. 5-14.
- [5] Александров Е.Б. Исследование поверхностных деформаций с помощью голографической техники / Е.Б. Александров, А.М. Бонч-Бруевич // ИТФ. – М.: 1967. – 37 с.
- [6] Вест Ч. Голографическая интерферометрия / Ч. Вест // Пер. с англ. – М.: Мир. 1982. – 504 с.
- [7] Волков И.В. Применение спекл-голограмм для измерения компонент деформаций натуральных конструкций / И.В. Волков // Материалы VII Всесоюзной школы по голографии. – Л.: ЛИЯФ, 1975. – С. 305–318.
- [8] Кліменко В.З. Будівельна біоніка. Закони розвитку технічних систем. Будівельні конструкції / В.З. Кліменко // Навч. посібник – К.: ТОВ «Вид-во «Сталь». 2010. – 299 с.



- [9] Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат. 1981. – 41 с.

*Надійшла до редколегії 05.12.2011 р.*