

УДК 624.078:624.016

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.280420.99.626

ДІАГРАМА ДЕФОРМУВАННЯ ТА МОДУЛЬ КОВЗАННЯ НАГЕЛЬНИХ З'ЄДНАНЬ ДЕРЕВОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

ШЕХОРКИНА С. Є.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
САВИЦЬКИЙ М. В.², докт. техн. наук, проф.,
БОРДУН М. В.³, аспір.

^{1*} Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 021-84-44, e-mail: S_VT@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

² Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

³ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: klmari@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8539-2423

Анотація. Постановка проблеми. В гібридних деревобетонних конструкціях найпоширеніший тип зв'язків – це нагелі (болти, цвяхи, шурупи тощо). Урахування роботи з'єднання для розрахунку конструкції виконується через коефіцієнт сумісної роботи, який, у свою чергу, залежить від модуля ковзання. Згідно з чинними нормами [2] розрахунок ведеться із припущення лінійно-пружної роботи з'єднання, тоді як експериментальні дослідження показали, що діаграма деформування має явно виражений нелінійний характер. Окрім цього, розрахунковий модуль ковзання значно відрізняється від отриманого під час випробувань. Таким чином, урахування фактичного характеру роботи з'єднань дає можливість отримати більш точні методи розрахунку. **Мета статті** – розроблення теоретичної залежності для визначення модуля ковзання нагельного з'єднання гібридних дерево-бетонних конструкцій. **Висновки.** На основі аналізу існуючих даних щодо особливостей деформування нагельних з'єднань гібридних деревобетонних конструкцій запропоновано рівняння залежності модуля ковзання з'єднання від величини переміщень. Виявлено, що використання для розрахунку деревобетонних з'єднань лінійно-пружної моделі роботи зумовлює завищені значення несної здатності. Отримані теоретичні графіки деформування відповідають експериментальним та, порівняно із чинними нормами проектування, більш точно відображають роботу з'єднання під навантаженням. Теоретичні значення модуля ковзання менші за експериментальні на 30...35 %, що, з огляду на неоднорідність фізико-механічних властивостей деревини та для забезпечення запасу несної здатності, задовільно. Запропонована залежність для визначення модуля ковзання дозволяє врахувати його зміну за роботи з'єднання під навантаженням.

Ключові слова: з'єднання деревобетонних конструкцій; діаграма деформування; модуль ковзання; залежність «навантаження-переміщення»

ДИАГРАММА ДЕФОРМИРОВАНИЯ И МОДУЛЬ СКОЛЬЖЕНИЯ НАГЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ШЕХОРКИНА С. Е.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
САВИЦКИЙ Н. В.², докт. техн. наук, проф.,
БОРДУН М. В.³, аспир.

^{1*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (095) 021-84-44, e-mail: S_VT@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

² Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

³ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: klmari@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8539-2423

Аннотация. Постановка проблемы. В гибридных деревобетонных конструкциях распространенным

типом связей являются нагели (болты, гвозди, шурупы и т. д.). Учет работы соединения при расчете конструкции выполняется через коэффициент совместной работы, который, в свою очередь, зависит от модуля скольжения. Согласно действующим нормам [2] расчет ведется из предположения линейно-упругой работы соединения, тогда как экспериментальные исследования показали, что диаграмма деформирования имеет явно выраженный нелинейный характер. Кроме этого, расчетный модуль скольжения значительно отличается от полученного при испытаниях. Таким образом, учет фактического характера работы соединений дает возможность получить более точные методы расчета. **Цель статьи** – разработка теоретической зависимости для определения модуля скольжения нагельного соединения гибридных деревобетонных конструкций. **Выводы.** На основе анализа существующих данных об особенностях деформирования нагельных соединений гибридных деревобетонных конструкций предложено уравнение зависимости модуля скольжения соединения от величины перемещений. Выявлено, что использование при расчете деревобетонных соединений линейно-упругой модели работы приводит к завышенным значениям несущей способности. Полученные теоретические графики деформирования соответствуют экспериментальным и, по сравнению с действующими нормами проектирования, более точно отражают работу соединения под нагрузкой. Теоретические значения модуля скольжения меньше, чем экспериментальные, на 30...35 %, что с учетом неоднородности физико-механических свойств древесины и для обеспечения запаса несущей способности является удовлетворительным. Предложенная зависимость для определения модуля скольжения позволяет учесть его изменение при работе соединения под нагрузкой.

Ключевые слова: соединения деревобетонных конструкций; диаграмма деформирования; модуль скольжения; зависимость «нагрузка-перемещение»

DEFORMATION DIAGRAM AND SLIP MODULUS OF TIMBER-CONCRETE NAILED CONNECTION

SHEKHORKINA S.Ye.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
SAVYTSKYI M.V.², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
BORDUN M.V.³, *Postgrad. Stud.*

^{1*} Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, State Higher Education Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (095) 021-84-44, e-mail: S_VT@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4377-3746

² Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, State Higher Education Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

³ Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, State Higher Education Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: klmari@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8539-2423

Abstract. Problem statement. The common type of ties in hybrid timber-concrete structures are nails (bolts, screws, etc.). In the design of structure the connection work is taken into account through the composite action coefficient, which in its turn depends on the slip modulus. According to the current standards [2], the calculation is based on the assumption of linear elastic behaviour of the connection, while experimental studies have shown that the deformation diagram has a clearly expressed nonlinear character. Besides, the calculated slip modulus differs significantly from the one obtained from test results. Thus, taking into account the actual nature of the operation of the compounds makes it possible to obtain more accurate calculation methods. **The purpose of the article** is to develop the theoretical relationship for determining the slip modulus of the nailed connection of hybrid wood-concrete structures. **Conclusion.** Based on the analysis of existing data on the features of the deformation of the nailed connections of hybrid timber-concrete structures, an equation is proposed for the dependence of the slip modulus of the connection on the displacement. It was revealed that the application of linear-elastic behaviour models in the calculation of timber-concrete connections leads to overestimated values of the bearing capacity. The theoretical deformation diagrams obtained correspond to the experimental ones and more accurately reflect the behaviour of the connection under load in comparison with the current design standards. The theoretical values of the slip modulus are 30-35% less than the experimental ones, which is satisfactory taking into account the heterogeneity of the physical and mechanical properties of timber and to ensure the reserve of bearing capacity. The proposed dependence for determining the slip modulus allows taking into account its change during connection operation under load.

Keywords: timber-concrete connections; deformation diagram; slip modulus; «load-displacement» dependence

Постановка проблеми, мета і завдання дослідження. В гібридних деревобетонних конструкціях найпоширеніший тип зв'язків – це нагелі (болти, цвяхи, шурупи тощо). Робота нагелів полягає в згинанні самого нагеля та в зминанні деревини під нагелем. Велику роль відіграє тертя поверхонь, робота нагелів на розтяг, а також тривалість дії навантаження. Урахування роботи з'єднання для розрахунку конструкції виконується через коефіцієнт сумісної роботи [1; 2], який, у свою чергу, залежить від модуля ковзання.

Згідно з чинними нормами проектування модуль ковзання визначається за формулами, наведеними в [2], або шляхом випробувань стандартних зразків згідно з [3]. При цьому приймаються два усереднені значення модуля – за несною здатністю або експлуатаційною придатністю. Тобто розрахунок ведеться із припущення лінійно-пружної роботи.

Вивченню роботи з'єднання деревобетонних конструкцій присвячено праці багатьох учених. Дані досліджень [4–6] показали, що робота з'єднання під навантаженням характеризується нелінійною залежністю «навантаження – деформація».

У публікаціях [6; 7] автори наводять дані порівняльного аналізу несної здатності і модуля ковзання, отримані розрахунком відповідно до норм проектування і експериментальним шляхом. Автори зазначають, що норми дозволяють з достатньою надійністю спрогнозувати характер руйнування і несну здатність з'єднання, однак розрахунковий модуль ковзання значно відрізняється від отриманого під час випробувань. Таким чином, урахування фактичного характеру роботи з'єднань дає можливість отримати більш точні методи розрахунку.

Автори [8] для моделювання роботи деревобетонних елементів з урахуванням наявності опалубки пропонують дволінійну діаграму, яка базується на аналітичному визначенні модуля ковзання та максимальному навантаженні. Нагель розглядається як балка на пружній основі,

що складається із двох частин (бетону та деревини) та вільної ділянки (опалубки). Проте результати [9] доводять, що наявність опалубки також впливає на характеристики з'єднання.

Існуючі залежності для математичного опису діаграми деформування з'єднання деревобетонних елементів проаналізовані в працях [4]. Зазначається, що їх суттєвий недолік полягає у необхідності проведення низки випробувань для визначення коефіцієнтів, що не завжди доцільно.

Мета статті – розроблення теоретичної залежності для визначення модуля ковзання нагельного з'єднання гібридних деревобетонних конструкцій.

Для досягнення поставленої мети:

- виконано аналіз особливостей деформування нагельного з'єднання гібридних деревобетонних конструкцій;
- запропоновано рівняння залежності модуля ковзання від величини переміщень;
- отримано графіки деформування з'єднання деревобетонних елементів та зміни модуля ковзання від переміщень залежно від фізико-механічних характеристик матеріалів з'єднання та діаметра нагеля;
- виконано порівняльний аналіз отриманих теоретичних даних з експериментальними.

Виклад основного матеріалу. Модуль ковзання характеризує жорсткість з'єднання дерев'яного та бетонного елементів і визначається як сила, яку необхідно прикласти, щоб викликати одиничне переміщення (рис. 1):

$$K = P / \delta, \quad (1)$$

де: K – модуль ковзання; P – сила; δ – переміщення.

Згідно з чинними нормами механічні характеристики з'єднання рекомендується визначати шляхом випробувань зразків на зсув [3]. Модуль ковзання визначається як тангенс кута нахилу дотичної або січної до графіка деформування з'єднання у точках, що відповідають певній величині навантаження та переміщення. Модуль ковзання для розрахунку за

експлуатаційною придатністю K_{ser} відповідає куту нахилу дотичної до графіка (рис. 2) за навантаження $0.4F_{max}$, для розрахунку за несною здатністю K_u – куту нахилу за навантаження $0.6F_{max}$ (F_{max} – теоретичне максимальне навантаження).

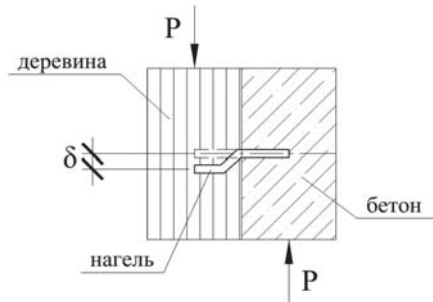


Рис. 1. До визначення модуля ковзання дерево-бетонного з'єднання

У випадку неможливості експериментального визначення модуль ковзання приймається за емпіричними формулами залежно від густини деревини та діаметра нагеля, наведеними в [2]:

$$K_{ser} = 2\rho_m^{1.5}d / 23; \quad (2)$$

$$K_u = 2K_{ser} / 3, \quad (3)$$

де: ρ_m – густина деревини, кг/м³; d – діаметр нагеля.

Таким чином, у розрахунку конструкції за чинним стандартом роботи з'єднання вважається лінійно-пружним. Численні експериментальні дослідження [4–7] показали, що робота з'єднувальних елементів під навантаженням має нелінійний характер. Характерний вигляд діаграми навантаження – деформація показано на рисунку 2.

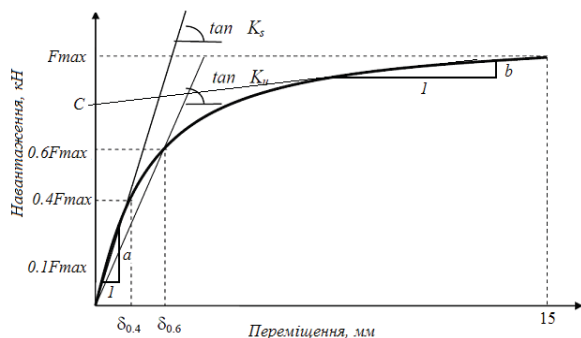


Рис. 2. Крива навантаження-переміщення нагельного з'єднання деревобетонних елементів [9; 10]

Як видно з рисунка 2, робота нагеля за малих навантажень має наближений до лінійного характер і характеризується початковою жорсткістю. За збільшення навантаження на певному етапі спостерігається викривлення діаграми і початок текучості з'єднання, після якого починається інтенсивне наростання деформацій. Максимальним вважається навантаження F_{max} , яке відповідає переміщенню 15 мм.

Залежність для опису діаграми деформування нагельного з'єднання під час роботи на зсув має вигляд [10]:

$$F(\delta) = [c + b(\delta - \delta_0)] [1 - e^{\frac{-a(\delta - \delta_0)}{c}}], \quad (4)$$

де: F – навантаження; δ – переміщення; δ_0 – початковий зазор (наприклад, внаслідок попереднього висвердлювання отвору); a, b, c – коефіцієнти.

Оскільки модуль ковзання за фактичного навантаження визначається як тангенс кута нахилу січної графіка діаграми деформування, отримаємо:

$$K(\delta) = \frac{1}{\delta} (c + b\delta) \left(1 - e^{\frac{-a\delta}{c}} \right). \quad (5)$$

Коефіцієнт a враховує початкову жорсткість з'єднання і визначається як тангенс кута нахилу дотичної до графіка, в точці, що відповідає навантаженню $0.1F_{max}$. У праці [11] на основі експериментальних досліджень встановлено, що коефіцієнт a приблизно дорівнює $K_{ser}/0.65$. Враховуючи формулу (2), отримаємо:

$$a = \rho_m^{1.5}d / 7.475. \quad (6)$$

Коефіцієнт b враховує «зміцнення» матеріалу з'єднання внаслідок ущільнення деревини під поверхнею нагеля і дорівнює тангенсу кута нахилу дотичної до графіка деформування на ділянці інтенсивного наростання деформацій. Виходячи з графіка на рисунку 2, можна записати:

$$b = (F_{max} - c) / 15, \quad (7)$$

де: F_{max} – теоретичне максимальне наванта-

ження на з'єднання.

Коефіцієнт c дорівнює навантаженню, що відповідає точці перетину дотичної до графіка деформування на ділянці інтенсивного наростання деформацій і приблизно дорівнює навантаженню на межі текучості з'єднання, тобто:

$$c = F_y, \quad (8)$$

де: F_y – навантаження на межі текучості з'єднання.

З урахуванням (8) отримаємо:

$$b = (F_{max} - F_y) / 15. \quad (9)$$

Теоретичне значення максимального навантаження та навантаження на межі текучості можна обчислити з використанням формул, наведених у [2]:

$$F_y = 1.15 \sqrt{2\beta / (1 + \beta)} \sqrt{2M_y f_{h,1} d}, \quad (10)$$

$$F_{max} = 1.15 \sqrt{2\beta / (1 + \beta)} \sqrt{2M_u f_{h,1} d}, \quad (11)$$

де: M_y – момент текучості нагеля, Н·мм; M_u – максимальний момент нагеля, Н·мм; $f_{h,1}$ – міцність вдавнення нагеля в масив деревини, Н/мм²; β – коефіцієнт, що враховує тертя між поверхнями, що контактують.

Момент текучості та максимальний момент нагеля визначаються за формулами [8]:

$$M_y = f_y d^3 / 6, \quad (12)$$

$$M_u = f_u d^3 / 6, \quad (13)$$

де: f_y – опір матеріалу нагеля за межею текучості, Н/мм²; f_u – опір матеріалу нагеля за тимчасовим опором, Н/мм².

Міцність вдавнення нагеля в масив деревини або бетону [Єврокод]:

$$f_{h,i} = 0.082(1 - 0.01d)\rho_i, \quad (14)$$

де: ρ_i – густина матеріалу, кг/м³; $i = 1$ – для бетону; $i = 2$ – для деревини.

Коефіцієнт тертя між поверхнями, що контактують [8]:

$$\beta = f_{h,1} / f_{h,2}, \quad (15)$$

де $f_{h,1}$, $f_{h,2}$ – міцність вдавнення нагеля в

масив бетону та деревини, відповідно.

Таким чином, з використанням формул (4) – (15) можна отримати повну криву навантаження-переміщення нагельного з'єднання деревобетонного елемента та значення модуля ковзання залежно від величини зсувного навантаження. Наведені залежності можуть бути використані для моделювання піддатливості нагельного з'єднання гібридних деревобетонних конструкцій.

На основі запропонованих залежностей побудовано графіки деформування з'єднання дерев'яних та бетонних елементів та зміни величини модуля ковзання від переміщень, а також від величини навантаження для таких параметрів з'єднання:

– деревина хвойних порід класу міцності С24 ($\rho = 350$ кг/м³) та листяних порід D30 ($\rho = 530$ кг/м³);

– бетон важкий ($\rho = 2\,500$ кг/м³);

– нагелі сталеві діаметром 6, 8 та 12 мм класу міцності 4.8 ($f_u = 400$ Н/мм², $f_y = 320$ Н/мм²).

Отримані дані наведені на рисунках 3–6. Для порівняння на графіку залежності модуля ковзання від величини переміщення також наведено значення модуля ковзання для перевірки за несною здатністю K_u , отримане за формулою (3) [2].

Виходячи з аналізу отриманих даних, визначальними факторами, що зумовлюють характер деформування з'єднання, стають характеристики деревини та діаметр нагеля. Наприклад, за діаметра нагеля 6 мм теоретичне максимальне навантаження для деревини класу С24 становить 3.3 кН, тоді як для класу D30 – 3.9 кН, що на 15 % більше. Аналогічно при діаметрі нагеля 8 мм максимальне навантаження для деревини класу С24 становить 5.8 кН, для класу D30 – 6.9 кН (різниця 14.5 %); за діаметра нагеля 12 мм максимальне навантаження для деревини класу С24 становить 12.7 кН, для класу D30 – 15.2 кН (різниця 16.4 %).

Таким чином, чим більша густина деревини, тим менш деформативне з'єднання, відповідно більше значення

модуля ковзання з'єднання. Як видно з графіків на рисунках 5 та 6, величина модуля ковзання максимальна за малих значень переміщень й інтенсивно зменшується на ділянках, що відповідають наростанню переміщень.

Для оцінювання ефективності запропонованих залежностей виконано порівняльний аналіз з експериментальними даними інших авторів [4; 7]. Встановлено, що отримані теоретичні графіки деформування, відповідають експериментальним та, порівняно із залежностями в нормах проектування, більш точно відображають роботу з'єднання під навантаженням. При цьому, як видно з рисунків 3–6, використання для розрахунку деревобетонних з'єднань лінійно-пружної моделі роботи зумовлює завищені значення несної здатності.

У працях [9; 11] наведено результати стандартних випробувань деревобетонних з'єднань для визначення модуля ковзання. Модуль ковзання визначався згідно з вимогами [3]:

$$K_u = 0.6F_{\max}/\delta_{0.6}, \quad (16)$$

де: $\delta_{0.6}$ – переміщення, що відповідає навантаженню на рівні 60 % від максимального.

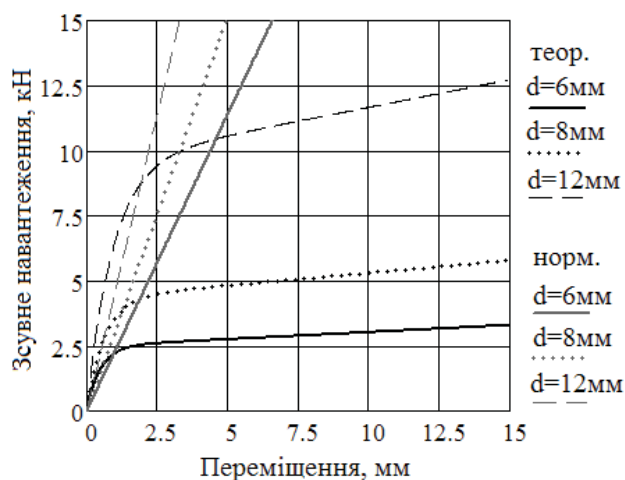


Рис. 3. Графіки «навантаження – переміщення» для з'єднання деревини класу C24 та бетону, отримані за теоретичною залежністю та згідно з нормами [2]

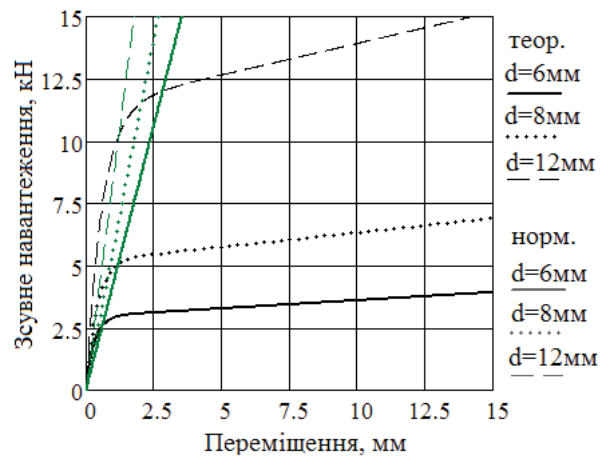


Рис. 4. Графіки «навантаження-переміщення» для з'єднання деревини класу D30 та бетону, отримані за теоретичною залежністю та згідно з нормами [2]

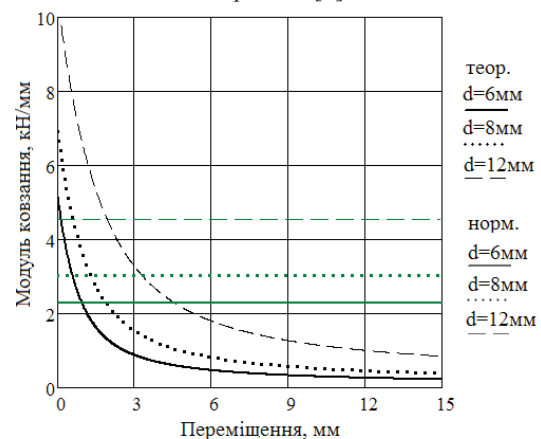


Рис. 5. Графіки зміни величини модуля ковзання від переміщень для з'єднання деревини класу C24 та бетону, отримані за теоретичною залежністю та згідно з нормами [2]

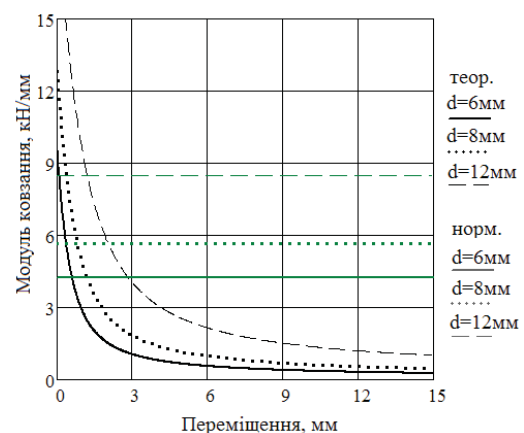


Рис. 6. Графіки зміни величини модуля ковзання від переміщень для з'єднання деревини класу D30 та бетону, отримані за теоретичною залежністю та згідно з нормами [2]

У таблиці приведено величини переміщення за навантаження $0.6F_{max}$, отримані експериментально та з викори-

станням теоретичних залежностей, а також відповідні значення модуля ковзання.

Таблиця

Порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних даних

Матеріал з'єднання		Діаметр нагеля, мм	Модуль ковзання за навантаження $0.6F_{max}$ K_u , кН/мм		
деревина	бетон		теор.	експ.	% різн.
хвойна порода ($\rho = 460 \text{ кг/м}^3$)	C20/25 ($\rho = 2\,500 \text{ кг/м}^3$)	8	5,3	7,67	30 %
		10	6,6	10,1	35 %

Як видно з таблиці, теоретичні значення модуля ковзання K_u менші, ніж експериментальні, на 30 % для нагеля діаметром 8 мм та 35 % для нагеля діаметром 10 мм. Оскільки деревина характеризується значною неоднорідністю та варіативністю фізико-механічних властивостей, з точки забезпечення запасу несної здатності така розбіжність задовільна. Таким чином, отримані залежності дозволяють урахувати зміну величини модуля ковзання під час роботи з'єднання під навантаженням і тому можуть бути використані для оцінювання напружено-деформованого стану гібридних деревобетонних конструкцій з урахуванням нелінійної роботи з'єднань.

Висновки. На основі аналізу існуючих даних щодо особливостей деформування нагельних з'єднань гібридних деревобетонних конструкцій запропоновано рівняння залежності модуля ковзання з'єднання від величини переміщень.

Із використанням отриманої залежності побудовано графіки деформування та модуля ковзання від переміщень для з'єднання елементів з бетону важкого класу C20/25

($\rho = 2\,500 \text{ кг/м}^3$) та деревини класів міцності

C24 ($\rho = 350 \text{ кг/м}^3$), D30 ($\rho = 530 \text{ кг/м}^3$) для діаметрів нагеля 6, 10 та 12 мм класу міцності 4.8 ($f_u = 400 \text{ Н/мм}^2$, $f_y = 320 \text{ Н/мм}^2$).

Установлено, що отримані теоретичні графіки деформування відповідають експериментальним та, порівняно із чинними нормами проектування, більш точно відображають роботу з'єднання під навантаженням, а використання для розрахунку деревобетонних з'єднань лінійно-пружної моделі роботи спричинює завищені значення несної здатності.

Теоретичні значення модуля ковзання менші, ніж експериментальні, на 30...35 %, що з огляду на неоднорідність фізико-механічних властивостей деревини та для забезпечення запасу несної здатності задовільно.

Запропоноване рівняння для визначення модуля ковзання дозволяє врахувати його зміну під час роботи з'єднання під навантаженням і в подальших дослідженнях буде використане для розроблення методу оцінювання напружено-деформованого стану гібридних деревобетонних конструкцій з урахуванням нелінійної роботи з'єднань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ржаницин А. Р. Составные стержни и пластинки. Москва : Стройиздат, 1986. 316 с.
2. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення [чинні від 2018-01-02]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 111 с. (Державні будівельні норми України). URL : http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73496 (дата звернення: 04.03.2020).
3. EN 26891:1991. Timber structures – joints made with mechanical fasteners – general principles for the determination of strength and deformation characteristics. European Committee for Standardization (CEN). Brussels, 1991. URL: <https://standards.globalspec.com/std/178183/EN%2026891> (дата звернення: 04.03.2020).
4. Dias A. M. P. G., Martins A. R. D., Simões L. M. C., Providência P. M., Andrade A. A. M. Statistical

analysis of timber–concrete connections – Mechanical properties. *Computers and Structures*. 2015. Vol. 155. Pp. 67–84. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2015.02.036> (дата звернення: 04.03.2020).

5. Khorsandnia N., Valipour H. R., Crews K. Experimental and analytical investigation of short-term behaviour of LVL–concrete composite connections and beams. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 37. Pp. 229–238. URL: [doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.07.022](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.022) (дата звернення: 04.03.2020).

6. Shekhorkina S., Kesariisky A., Makhinko M., Nikiforova T., Savytskyi O. Experimental Investigation and FEM Modeling of Glued Timber Connections with Slotted-In Steel Plates. *Slovak Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 27, № 4. Pp. 18–23. URL: <https://doi.org/10.2478/sjce-2019-0027> (дата звернення: 04.03.2020).

7. Branco J. M., Cruz P. J. S., Piazza M. Experimental analysis of laterally loaded nailed timber-to-concrete connections. *Construction and Building Materials*. 2009. Vol. 23 (1). Pp. 400–410. URL: [doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.11.011](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.011) (дата звернення: 04.03.2020).

8. Gelfi P., Giuriani E., Marini A. Stud Shear Connection Design for Composite Concrete Slab and Wood Beams. *Journal of Structural Engineering-ASCE*. 2002. Vol. 128, № 12. Pp. 1544–1550. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2002\)128:12\(1544\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:12(1544)) (дата звернення: 04.03.2020).

9. Dias A. M. P. G. Non linear modelling of timber-concrete composite structures. *World Conference on Timber Engineering*. 2010. URL: https://www.researchgate.net/publication/264855448_Non_linear_modelling_of_timber-concrete_composite_structures (дата звернення: 04.03.2020).

10. Nishiyama N., Ando N. Analysis of load-slip characteristics of nailed wood joints : Application of a two-dimensional geometric nonlinear analysis. *Journal of Wood Science*. 2003. Vol. 49 (6). Pp. 505–512. URL: <https://doi.org/10.1007/s10086-003-0519-9> (дата звернення: 04.03.2020).

11. Dias A. M. P. G.. Analysis of the Nonlinear Behavior of Timber-Concrete Connections. *Journal of Structural Engineering – ASCE*. 2012. Vol. 138, № 9. Pp. 1128–1137. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000523](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000523) (дата звернення: 04.03.2020).

REFERENCES

1. Rzhancin A.R. *Sostavniye sterzhni i plastinki* [Composite rods and plates]. Moscow : Stroyizdat, 1986, 316 p. (in Russian).

2. *DBN B.2.6-161:2017. Derevyani konstrukcii. Osnovni polozhennia* [SCN B.2.6-161:2017. Timber structures. General aspects] [Valid from 2018-01-02]. Official edition. Kyiv : Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2017, 111 p. (State Building Codes of Ukraine). (in Ukrainian).

3. EN 26891:1991. Timber structures – joints made with mechanical fasteners – general principles for the determination of strength and deformation characteristics. European Committee for Standardization (CEN). Brussels, 1991.

4. Dias A.M.P.G., Martins A.R.D., Simões L.M.C., Providência P.M. and Andrade A.A.M. Statistical analysis of timber–concrete connections – Mechanical properties. *Computers and Structures*. 2015, vol. 155, pp. 67–84. (Accessed : 04 March 2020).

5. Khorsandnia N., Valipour H. R. and Crews K. Experimental and analytical investigation of short-term behaviour of LVL–concrete composite connections and beams. *Construction and Building Materials*. 2012, vol. 37, pp. 229–238. (Accessed : 04 March 2020).

6. Shekhorkina S., Kesariisky A., Makhinko M., Nikiforova T. and Savytskyi O. Experimental Investigation and FEM Modeling of Glued Timber Connections with Slotted-In Steel Plates *Slovak Journal of Civil Engineering*. 2019, vol. 27, no. 4, pp. 18–23. (Accessed : 04 March 2020).

7. Branco J.M., Cruz P.J.S. and Piazza M. Experimental analysis of laterally loaded nailed timber-to-concrete connections. *Construction and Building Materials*. 2009, vol. 23 (1), pp. 400–410. (Accessed : 04 March 2020).

8. Gelfi P., Giuriani E. and Marini A. Stud Shear Connection Design for Composite Concrete Slab and Wood Beams. *Journal of Structural Engineering-ASCE*. 2002, vol. 128, no. 12, pp. 1544–1550. (Accessed : 04 March 2020).

9. Dias A.M.P.G. Non linear modelling of timber-concrete composite structures. *World Conference on Timber Engineering*. 2010. (Accessed : 04 March 2020).

10. Nishiyama N. and Ando N. Analysis of load-slip characteristics of nailed wood joints : Application of a two-dimensional geometric nonlinear analysis. *Journal of Wood Science*. 2003, vol. 49 (6), pp. 505–512. (Accessed : 04 March 2020).

11. Dias A.M.P.G. Analysis of the Nonlinear Behavior of Timber-Concrete Connections. *Journal of Structural Engineering – ASCE*. 2012, vol. 138, no. 9, pp. 1128–1137. (Accessed : 04 March 2020).

Надійшла до редакції 18.02.2020 р.