

Література

1. Радиопомехи индустриальные. Методы испытаний источников индустриальных радиопомех. Москва: Изд-во стандартов, 1984. 78 с.
2. Кузьмин В. Б. Построение групповых решений в пространствах четких и нечетких бинарных отношений. Москва: Наука, 1982. 168 с.
3. Адаптивная обработка сигналов в антенных решетках / Бураков В. А. и др. // Зарубежная радиоэлектроника. 1976. № 8. С. 35–39.
4. Ундрю Б. Адаптивные компенсаторы помех. Принципы построения и применения // ТИИЭР. 1975. № 12. С. 69–97.
5. Биховений М. А. Применение многоканальных компенсаторов помех в каналах связи. Москва: Радиотехника, 1984. № 12. С. 9–16.
6. Максимов М. В. Защита от радиопомех. Москва: Сов. радио, 1976. 495 с.
7. Лошин В. И., Комаров В. М., Нестеренко Н. И. Адаптивные антенные решетки в каналах широкополосной связи // Зарубежная радиоэлектроника. 1983. № 5. С. 3–23.
8. Методы обработки сигналов при наличии помех в линиях связи / ред. Каменев Е. Ф. Москва: Радио и связь, 1985. 224 с.
9. Бристон Т. А. Применение адаптивных компенсаторов помех для радиосвязи и радиолокации: Экспресс – информация // Радиотехника сверхвысоких частот. 1980. № 22. С. 16–20.
10. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. Москва: Радио и связь, 1982. 624 с.
11. Цыпкин Я. З. Основы теории автоматических систем. Москва: Наука, 1977. 560 с.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Черенков О. Д.
Дата надходження рукопису 13.11.2018*

Гуцол Тарас Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра энергетика и электротехнических систем в АПК, Подольский государственный аграрно-технический университет, ул. Шевченко, 13, м. Каменец-Подольский, Украина, 32316
E-mail: tte.nniekt@ukr.net

УДК 624.011

DOI: 10.15587/2313-8416.2018.153370

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО РОЗРАХУНКУ КАРНИЗНИХ ВУЗЛІВ ГНУТОКЛЕЄНИХ РАМ З КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ З ВРАХУВАННЯМ СКЛАДНОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ

© Д. В. Михайловський, Д. М. Матющенко

На підставі експериментальних даних уточнені коефіцієнти A_b , A_c та $B_{c.c.90}$ умови міцності для карнизних вузлів гнукклеєних рам. Запропоновані практичні рекомендації по розрахунку карнизних вузлів гнукклеєних рам з врахуванням складного напруженого стану клеєної деревини та встановлені небезпечні точки по довжині карнизного вузла для різних співвідношень кривини карнизного вузла r/h співвідношень h_{max}/L . Розроблені блок-схеми для розрахунку гнукклеєних рам з співвідношеннями кривини карнизного вузла $r/h < 4$ та $r/h \geq 4$

Ключові слова: клеєна деревина, напружено-деформований стан, карнизний вузол, гнукклеєна рама, складний напружений стан

1. Вступ

На даний момент ознак масового застосування конструкцій з клеєної деревини в капітальному будівництві України не помічено. Дане явище неможливо віднести до позитивної тенденції розвитку вітчизняних будівельних конструкцій в будівлях та спорудах різного функціонального призначення.

Досвід проектування конструкцій з клеєної деревини (далі ККД) в сучасній Україні достатньо невеликий, положення і норми прийняті для проектування клеєної деревини були механічно перенесені з цільної деревини, без врахування особливостей дійсного напруженого стану. Для конструкцій з цільної деревини достатньо було виконання перевірок розрахункових поперечних перерізів на відповідні максимальні розрахункові напруження, проте у випадку

ККД подібних розрахунків недостатньо. Сумісна дія окремих напружень формує особливий напружений стан, який суттєво впливає на надійність конструкцій з клеєної деревини. Внаслідок надзвичайної анізотропії механічних властивостей клеєної деревини сумісна дія різних напружень призводить до зниження міцності матеріалу, що підтверджено в роботі [1]. Але слід врахувати, що вище наведене явище не є недоліком, а скоріше платою за можливість створення нових конструктивних форм, надання елементам різноманітних обрисів (*ломаних, криволінійних тощо*) та архітектурної вишуканості. Завдяки дотриманні в гнукклеєних рамах принципу спрямованої орієнтації та збалансованої міцності дані рами є найбільш раціональною конструктивною формою. Ця конструктивна форма має високу надійність, що підтверджуєть-

ся світовим досвідом їх застосування для перекриттів прольотами до 70 м.

2. Літературний огляд

З 1996 року виробництво рамних конструкцій з клеєної деревини в Україні майже призупинено, однією з причин стали непоодинокі випадки «відмови» несучих конструкцій. Основним факторами «відмови» рамних конструкцій з клеєної деревини є:

1. Недостатня вивченість напружено-деформованого стану карнизних вузлів гнотоклеєних рам [2, 3];

2. Не досконалість розрахункових передумов при оцінці міцності елементів дерев'яних конструкцій [4, 5];

3. Відсутність сучасної достовірної інженерної методики розрахунку карнизних вузлів гнотоклеєних рам [6, 7];

4. Порушення технології виготовлення конструкції з клеєної деревини [8];

5. Порушення проектних температурно-вологісних умов експлуатації [9]

6. Не дотримання технології монтажу конструкцій з клеєної деревини [10, 11].

7. Наявність природних вад і концентрації напружень в вузлових з'єднаннях та елементах [12, 13];

8. Недостатньо повне врахування властивостей деревини, як анізотропного матеріалу при проектуванні елементів дерев'яних конструкцій [14, 15].

Задача визначення дійсного напружено-деформованого стану є достатньо складною, так як жорсткий карнизний вузол є стиснуто-зігнутих елементом з різко вираженою анізотропією фізико-механічних властивостей клеєної деревини.

У нормативних документах, наукових працях та навчально-методичній літературі практично відсутні рекомендації по розрахунку гнотоклеєних рам з врахуванням складного напруженого стану, що суттєво впливає на експлуатаційну надійність та є однією з причин невдалої реалізації гнотоклеєних рам в будівельній галузі України.

Експериментальні дослідження, що проводились з 80-х років минулого сторіччя довели, що виконання перевірок окремо по нормальним напруженням вздовж та поперек волокон і дотичним напруженням не забезпечує загальної міцності та надійності карнизного вузла. В зоні цих вузлів одночасно діють нормальні напруження вздовж волокон σ_x , поперек волокон σ_y і сколюючі напруження τ_{xy} . Перевірки міцності на дію цих напружень, навіть з урахуванням їх концентрації, згідно норм проектування, не забезпечують достатньої надійності. Тому врахування одночасної дії всіх компонент напруженого стану (σ_x , τ_{xy} , σ_y) є дуже важливою задачею, для такого сильно анізотропного матеріалу, яким є клеєна деревина [1, 16, 17].

Українськими вченими з використанням енергетичної теорії міцності, стосовно анізотропного матеріалу, запропоновані умови міцності клеєної деревини при різних сполученнях в СНС нормальних напружень вздовж волокон σ_x , поперек волокон σ_y та сколюючих τ_{xy} . Ця умова міцності міститься в

ДСТУ–Н Б.В.2.6–184 [18]. Запропонована умова міцності в загальному вигляді записується таким чином:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d,z_i}}{f_{t,0,d}} \text{ або } \frac{\sigma_{c,0,d,z_i}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{v,0,d,z_i}}{f_{v,0,d}} \right)^2 \cdot (A_t) \text{ або } (A_c) + \left(\left(\frac{\sigma_{c,90,d,z_i}}{f_{c,90,d}} \right)^2 \cdot B_{c,c.90} \right) \text{ або } \left(\left(\frac{\sigma_{t,90,d,z_i}}{f_{t,90,d}} \right)^2 \cdot B_{c,t.90} \right) \leq 1, \quad (1)$$

де $\sigma_{c,0,d,z_i}$ – розрахункові напруження стиску вздовж волокон в проміжному волокні z_i ;

σ_{m,d,z_i} – розрахункові напруження розтягу вздовж волокон в проміжному волокні z_i ;

$f_{c,0,d}$ – розрахунковий опір клеєної деревини стиску вздовж волокон;

$f_{t,0,d}$ – розрахунковий опір клеєної деревини розтягу вздовж волокон;

$\tau_{v,0,d,z_i}$ – розрахункові напруження сколювання вздовж волокон в проміжному волокні z_i ;

$f_{v,0,d}$ – розрахунковий опір клеєної деревини сколюванню вздовж волокон;

$\sigma_{\tau,90,d,z_i}$ – розрахункові радіальні напруження розтягу в проміжному волокні z_i ;

$f_{t,0,d}$ – розрахунковий опір клеєної деревини розтягу вздовж волокон;

$\sigma_{c,90,d,z_i}$ – розрахункові радіальні напруження стиску в проміжному волокні z_i ;

$f_{c,90,d}$ – розрахунковий опір клеєної деревини стиску впоперек волокон;

z_i – ордината по висоті поперечного перерізу, яка відраховується від осі симетрії поперечного перерізу; $A_t, A_c, B_{c,c.90}, B_{c,t.90}$ – коефіцієнти, що враховують анізотропію фізико-механічних властивостей деревини, рівень початкового напруженого стану і приймаються за додатком Ж [18]. Значення коефіцієнти $A_t, A_c, B_{c,c.90}$ та $B_{c,t.90}$ приймаються в залежності від знаку напружень в чисельнику.

3. Мета та задачі дослідження

Метою даного дослідження є розроблення рекомендацій по розрахунку карнизних вузлів гнотоклеєних рам з врахуванням складного напруженого стану (далі СНС) з уточненням коефіцієнтів A_t, A_c та $B_{c,c.90}$ за експериментальними даними з роботи [19].

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Виконати апробацію можливості розрахунку карнизних вузлів гнотоклеєних рам за допомогою методу скінченних елементів на підставі порівняльного аналізу з результатами натурних випробувань.

2. За допомогою методу скінченних елементів виконати аналіз напружено-деформованого стану карнизних вузлів гнотоклеєних рам з показником кривини за допомогою методу скінчених елементів.

3. Розробити практичні рекомендації з пошуку небезпечних зон з точки зору СНС в карнизних вузлах гнукотклеєних рам враховуючи особливість напруженого стану.

4. Практичні рекомендації по розрахунку карнизних вузлів з врахуванням складного напруженого стану

Дана стаття присвячена гнукотклеєним рамам, де в зоні карнизних вузлів можливе виникнення складного напруженого стану. Чинні норми проектування [18] передбачають врахування складного напруженого стану в гнукотклеєних рамах, але не дають практичних рекомендацій по розміщенню небезпечних точок для перевірки міцності карнизних вузлів.

Небезпечним місцем з точки зору складного напруженого стану є таке місце в якому ліва частина умови міцності, досягає максимального значення. Чисельні та експериментальні дослідження при руйнівному навантаженні підтвердили наявність в перехідній зоні карнизного вузла концентрації дотичних та радіальних напружень при відносно невеликих значеннях нормальних напружень вздовж волокон в місці де відбулось руйнування.

За результатами чисельних досліджень, було виконано апробацію запропонованих умов міцності з відповідним уточненням коефіцієнтів A_t , A_c , $B_{c,c.90}$ з врахуванням експериментальних даних. Визначені небезпечні місця з точки зору складного напруженого стану в карнизних вузлах гнукотклеєних рам з показниками кривини карнизних вузлів $r/h < 4,0$ та $r/h \geq 4,0$.

Умова міцності для карнизних вузлів гнукотклеєних рам записується таким чином:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,z_i}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{v,0,d,z_i}}{f_{v,0,d}} \right)^2 \cdot (A_c) \text{ або} \\ (A_t) + \left(\frac{\sigma_{c,90,d,z_i}}{f_{c,90,d}} \right)^2 \cdot B_{c,c.90} \leq 1 \quad (2)$$

Коефіцієнти A_t , A_c , та $B_{c,c.90}$, що враховують анізотропію фізико-механічних властивостей деревини, після уточнення за експериментальними даними мають значення $A_t = 2,2$, $A_c = 1,52$ та $B_{c,c.90} = 1,09$.

Авторами статті запропоновано визначати напруження в карнизних вузлах гнукотклеєних рам за допомогою «ізоτροпних» формул для визначення напружень в кривих брусах з введенням поправочних коефіцієнтів. На підставі чисельних досліджень в програмному комплексі ЛІРА-САПР 2016 (ліцензія №10/5223) були визначені поправочні коефіцієнти для досліджуваних рам з показником кривини $1 \leq r/h \leq 6,0$ та співвідношень $h_{\max}/L < 1/19$ і $1/19 \leq h_{\max}/L < 1/29$. В результаті для рам з показником кривини $1 \leq r/h \leq 6,0$ та співвідношень

$h_{\max}/L < 1/19$ і $1/19 \leq h_{\max}/L < 1/29$ були отримані відповідні поправочні коефіцієнти K_0 , K_{90} , K_r . Поправочні коефіцієнти визначені з урахуванням відстані від центру перерізу до i -тої розрахункової точки, кута нахилу розрахункового перерізу в карнизному вузлі та показника кривини карнизного вузла r/h та співвідношення h_{\max}/L .

Для підтвердження можливості застосування ПК ЛІРА-САПР 2016 проведено співставлення напружено-деформованого стану одержаних за методом скінченних елементів та при натурних випробуваннях [19]. Таке порівняння експериментальних даних з результатами комп'ютерного моделювання дають змогу стверджувати, що метод скінченних елементів, на якому базується програмний комплекс ЛІРА-САПР 2016, на підставі чого можна зробити висновок, що застосування вище обумовленого програмного комплексу дає можливість достатньо достовірно визначати складові напруженого стану. Детально результати даних досліджень приведені в роботі [16].

5. Результати дослідження

За результатами досліджень в програмному комплексі ЛІРА-САПР 2016 було визначено, що небезпечні зони з точки зору складного напруженого стану залежать від показника кривини карнизного вузла. На основі чисельних досліджень встановлені наступні небезпечні точки (зони):

1) Для карнизних вузлів гнукотклеєних рам зі співвідношенням $r/h < 4$:

– на висоті від стиснутої кромки в межах $0,1...0,5h$ в похилих перерізах під кутом $0,1...0,4\alpha$ (рис. 1);

– на висоті від стиснутої кромки в межах $0,1...0,3h$ в похилих перерізах під кутом $0,8...1,0\alpha$ (рис. 1).

2) Для карнизних вузлів гнукотклеєних рам зі співвідношенням $r/h \geq 4$:

Небезпечні точки знаходяться в розтягнутій зоні на відстані $0,1...0,3h$ від зовнішньої грані перерізу на відстані $0,1...0,5h$ від місця прикладання зосередженої сили (рис. 1). В будівлях з каркасом з гнукотклеєних рам при конструюванні покриття та стінового огороження, моделюється в розрахунковій схемі безпосереднім прикладанням навантаження в верхній частині карнизного вузла у вигляді зосередженої сили. Великий діапазон пояснюється впливом зміни кривини криволінійних ділянок, геометрією рам та як наслідок зміни значень зосереджених значень сил та кута їх нахилу до зовнішньої площини.

Методика розрахунку гнукотклеєних рам з врахуванням СНС представлена у вигляді блок-схем: для гнукотклеєних рам з показником кривини карнизного вузла $r/h < 4,0$ – на рис. 2–4; для показниками кривини карнизного вузла $r/h \geq 4,0$ – на рис. 5–7.

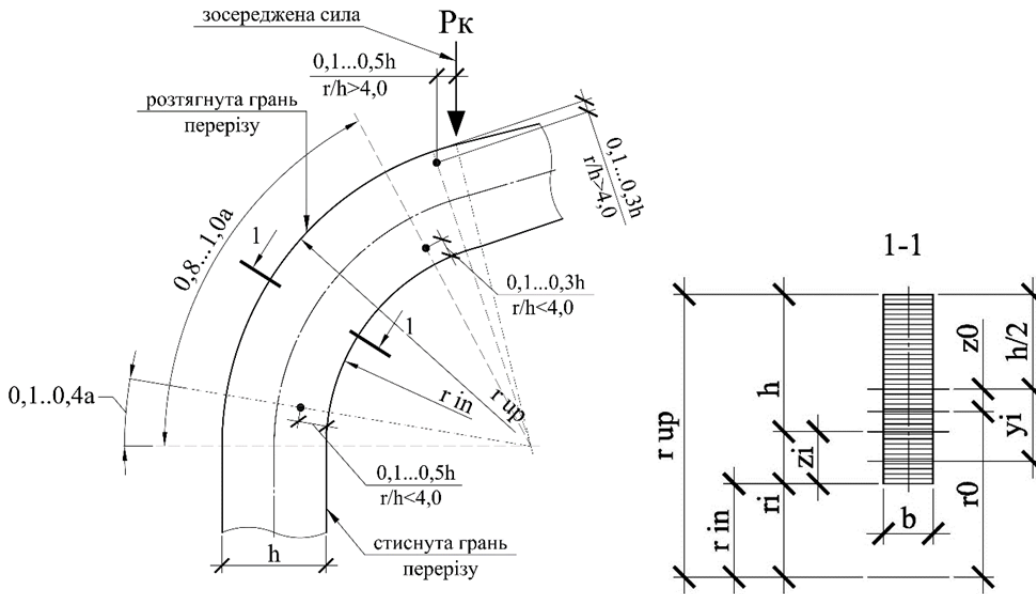


Рис. 1. Розрахункова схема карнизного вузла гнотоклесених рам з врахуванням небезпечних точок СНС

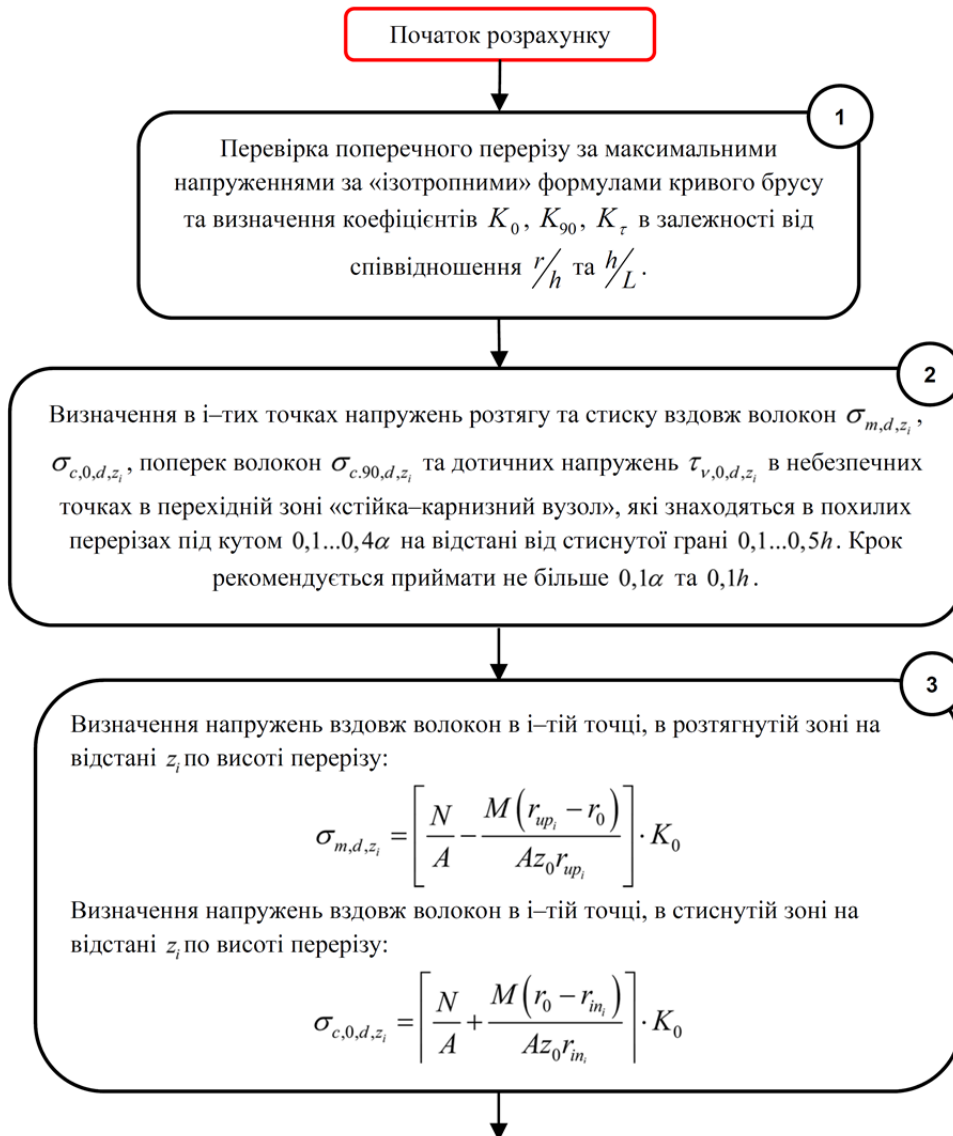


Рис. 2. Блок-схема № 1. Розрахунок карнизних вузлів з врахуванням складного напруженого стану для гнотоклесених рам з співвідношенням $r/h < 4,0$ (початок)

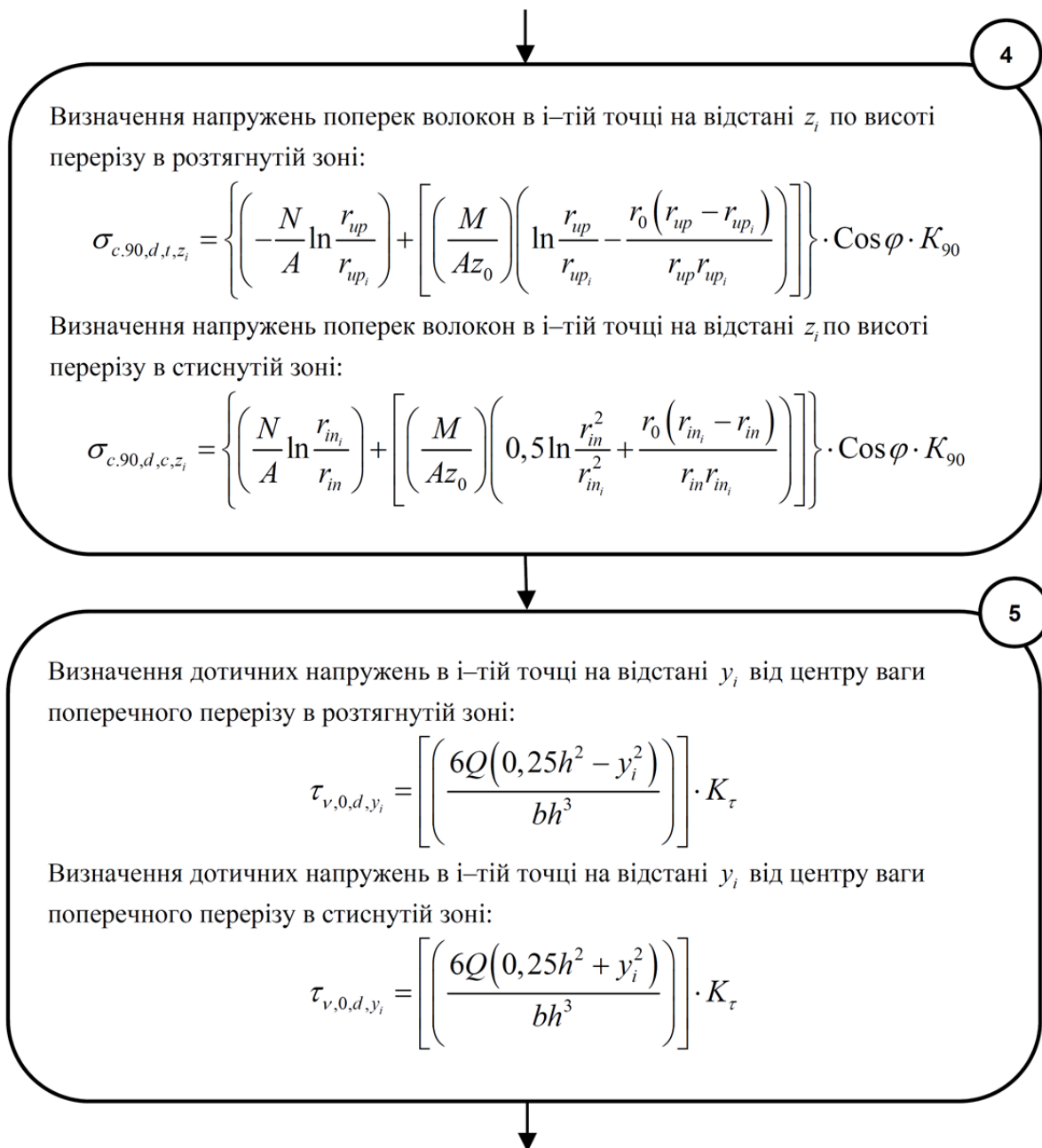


Рис. 3. Блок-схема № 1. Розрахунок карнизних вузлів з врахуванням СНС для гнукотесених рам з співвідношенням $r/h < 4,0$ (продовження)

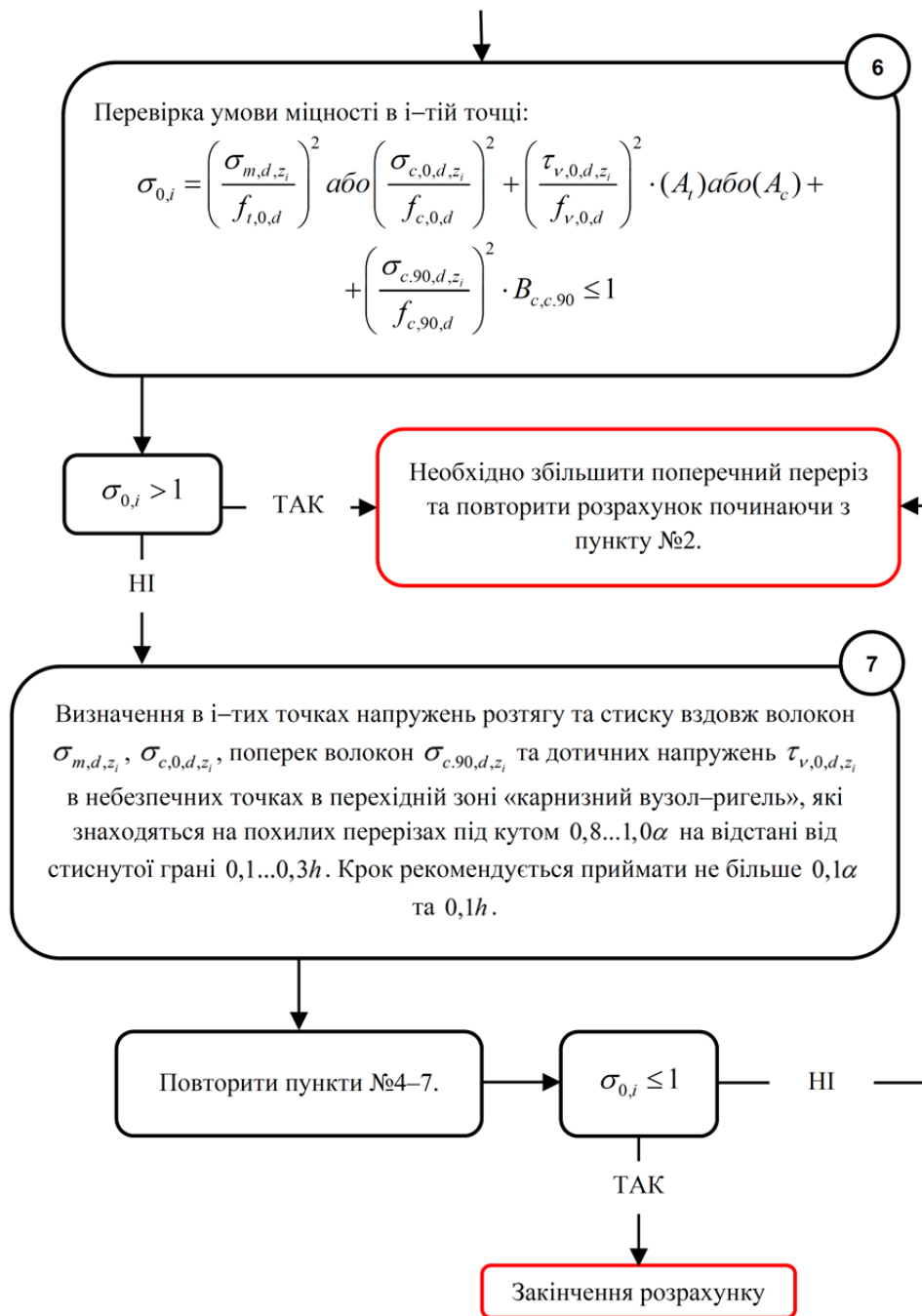


Рис. 4. Блок-схема № 1. Розрахунок карнизних вузлів з врахуванням СНС для гнукотесних рам з співвідношенням $r/h < 4,0$ (закінчення)



Рис. 5. Блок-схема № 2. Розрахунок карнизних вузлів з врахуванням СНС для гнотоклеєних рам з співвідношенням $r/h \geq 4,0$ (початок)

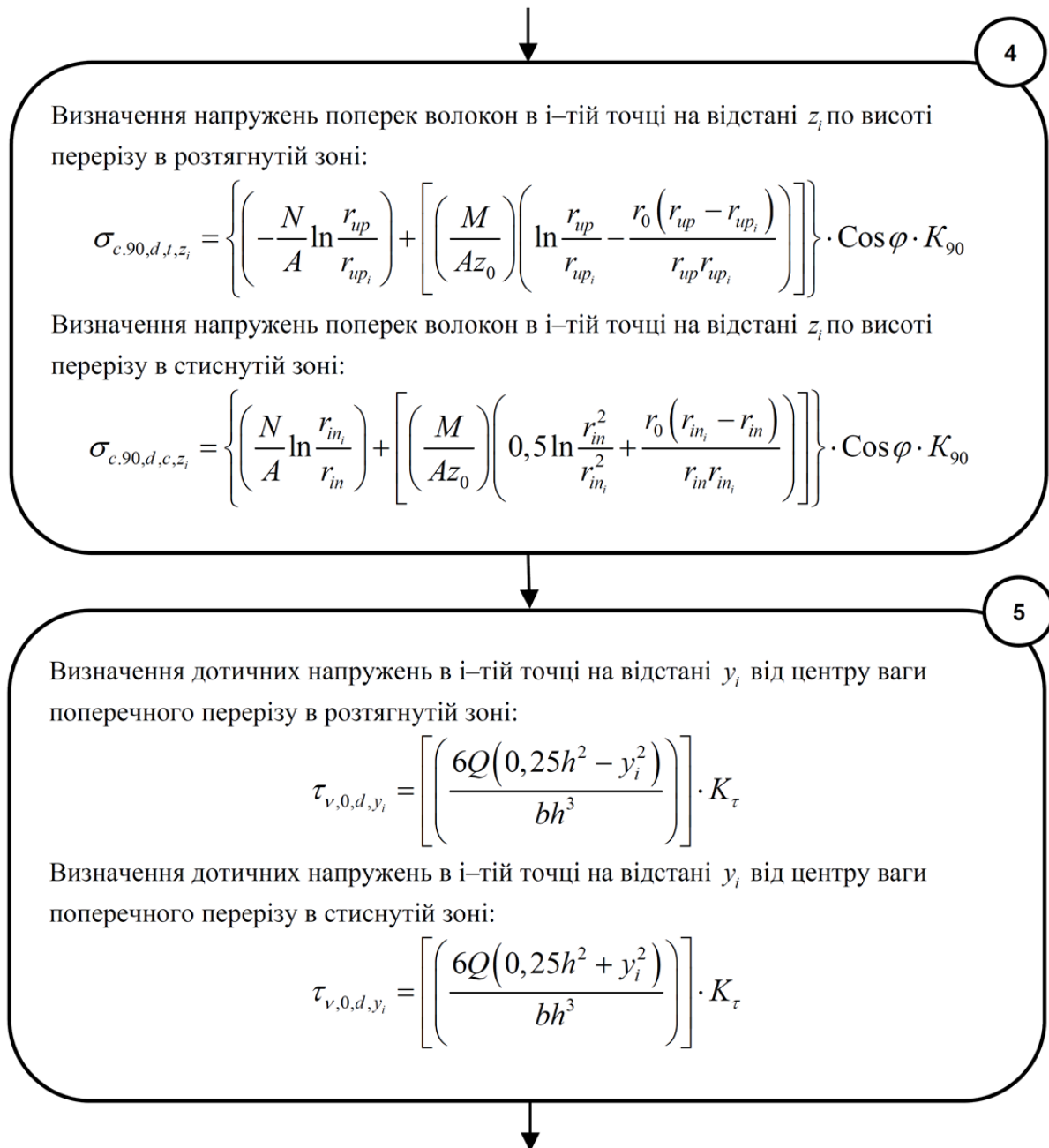


Рис. 6. Блок-схема № 2. Розрахунок карнизних вузлів з врахуванням СНС для гнукотесних рам з співвідношенням $r/h \geq 4,0$ (продовження)

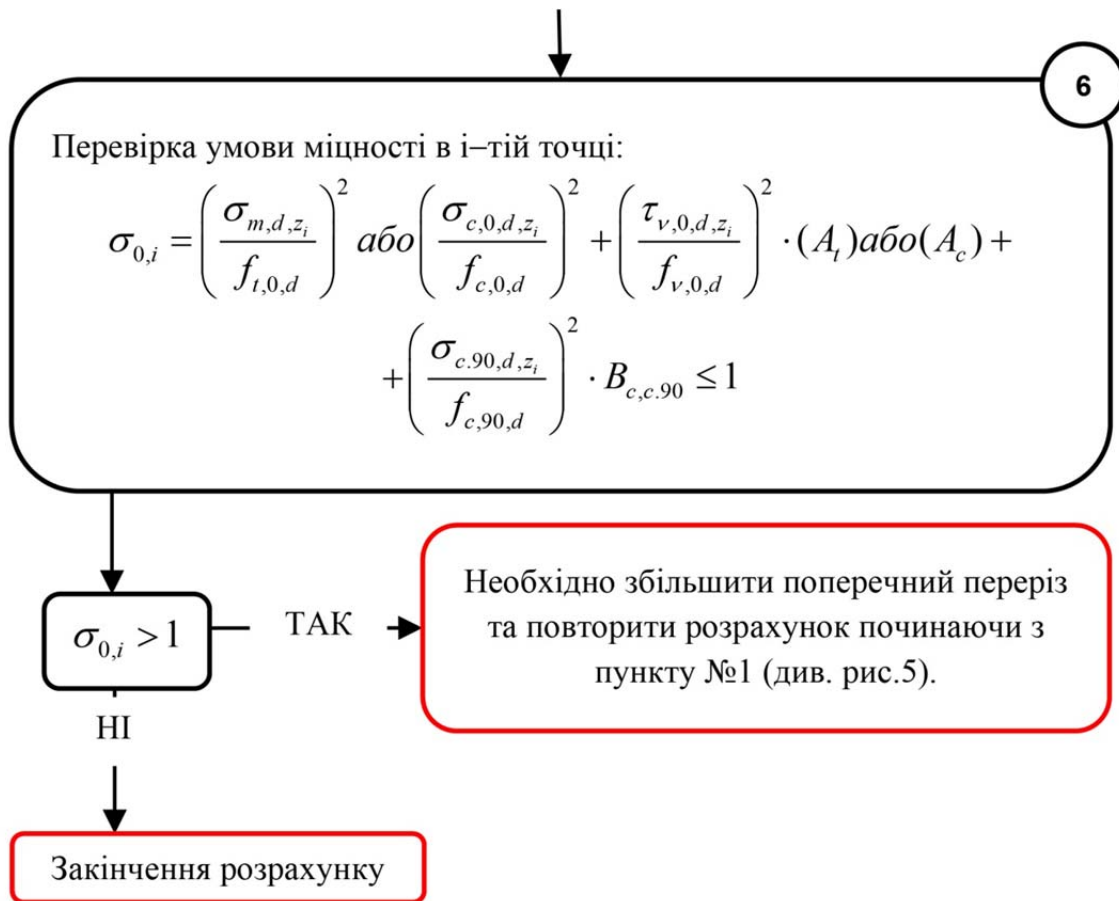


Рис. 7. Блок-схема № 2. Розрахунок карнизних вузлів з врахуванням СНС для гнотоклеєних рам з співвідношенням $r/h \geq 4,0$ (закінчення)

6. Висновки

1. На підставі порівняльного аналізу результатів експериментальних та чисельних досліджень гнотоклеєних рам встановлена якісна відповідність, з схожим характером розподілу напружень в найбільш небезпечних перерізах по довжині карнизного вузла. Тому метод скінченних елементів може бути обраний для розробки інженерної методики розрахунку карнизних вузлів з врахуванням СНС.

2. Досліджено напружено-деформований стан карнизних вузлів гнотоклеєних рам з різними прольотами від 12 до 65 м, з різним показником кривини карнизних вузлів від 1,0 до 6,0, які найчастіше засто-

совуються в будівельній практиці. Визначені небезпечні концентрації напружень в межах карнизного вузла та підтвердженні небезпечні ділянки з точки зору його надійності.

3. На підставі чисельних досліджень розроблені практичні рекомендації по розрахунку карнизних вузлів гнотоклеєних рам з показником кривини $r/h < 4,0$ та $r/h \geq 4,0$ з врахуванням СНС, які відсутні в нормах проектування дерев'яних конструкцій. Уточненні коефіцієнти умови міцності для розрахунку карнизних вузлів в небезпечних точках з позиції СНС з врахуванням експериментальних даних.

Література

1. Проектирование современных конструкций из клееной древесины на принципах новой концепции / Клименко В. З., Найчук А. Я., Фурсов В. В., Михайловский Д. В. К., 2010. 24 с.
2. Серов Е. Н. О результатах обследования некоторых видов КДК // Облегченных конструкции из древесины, фанеры и пластмасс. Л.: ЛИСИ, 1982. С. 5–9.
3. Турковский С. Б., Варфоломеев Ю. А. Результаты натурных обследований деревянных конструкций // Промышленное строительство. 1984. № 6. С. 19–20.
4. Найчук А. Я. О некоторых причинах повреждений деревянных конструкций в процессе эксплуатации // Уникальные спец. технологии. Деревянные клееные конструкции: перспективы развития рынка России с учетом мирового опыта. 2005. № 1 (2). С. 71–73.
5. Орлович Р. Б., Найчук А. Я. Некоторые причины аварий деревянных конструкций в сельскохозяйственных зданиях // Повышение эффективности строительства животноводческих и производственных зданий и сооружений. Тезисы докл. первой республиканской научно-практической конференции. Брест, 1981. С. 30–31.
6. Михайловский Д. В., Матющенко Д. М. Чисельні дослідження напруженого стану в карнизних вузлах гнотоклеєних рам // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2011. Вип. 21. С. 244–250.

7. Timber Engineering Notebook No. 5: Timber frame structures – platform frame construction (part 3) // The Structural Engineer. 2013. Vol. 91, Issue 7. P. 43–50.
8. Орлович Р. Б., Филимонов Н. С., Жук В. В. Наиболее существенные признаки расслоения и растрескивания элементов несущих клееных деревянных конструкций // Проблемы сельскохозяйственного строительства. Минск: Ураджай, 1980. С. 78–83.
9. Ломакин А. Д. Исследование состояния деревянных конструкций в сельскохозяйственных зданиях с повышенной эксплуатационной влажностью: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1971. 18 с.
10. Натахин В. Г. Основные причины дефектов несущих клееных деревянных конструкций сельских производственных зданий // Несущие деревянные конструкции. М., 1981. С. 116–124.
11. Иванов Ю. М. К классификации разрушений в элементах деревянных конструкций // Известия ВУЗов. Сер.: Строительство. 1992. № 1. С. 11–13.
12. Кабанов В. А. Надежность элементов деревянных конструкций: учеб. пос. Курск, 2003. 47 с.
13. Yoshihara H. Mode II R-curve of wood measured by 4-ENF test // Engineering Fracture Mechanics. 2004. Vol. 71, Issue 13-14. P. 2065–2077. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2003.09.001>
14. Серов Е. Н. Рациональное использование анизотропии прочности материалов в клееных деревянных конструкциях массового изготовления: дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1988. 521 с.
15. Vasic S., Smith I. Bridging crack model for fracture of spruce // Engineering Fracture Mechanics. 2002. Vol. 69, Issue 6. P. 745–760. doi: [https://doi.org/10.1016/s0013-7944\(01\)00091-1](https://doi.org/10.1016/s0013-7944(01)00091-1)
16. Mikhaylovskiy D., Matyuschenko D. Numerical researches of DGRP-type experimental frames using the finite elements method // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. 2016. Issue 2 (49). P. 14–23. doi: <https://doi.org/10.15276/opu.2.49.2016.04>
17. Михайловський Д. В., Матющенко Д. М. Щодо визначення радіальних напружень в криволінійних карнизних вузлах рам з клеєної деревини // Містобудування та територіальне планування. 2010. Вип. 38. С. 241–245.
18. ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012. Конструкції з цільної і клеєної деревини. Настанова з проектування. К.: Мінрегіонбуд України, 2016. С. 127–130.
19. Табунов С. Ю. Расчет и выбор оптимальных параметров рам с прямолинейным ригелем и гнукотклееными стойками для сельскохозяйственных зданий: дис. ... канд. техн. наук. Л.: ЛИСИ, 1984.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Гайдайчук В. В.
Дата надходження рукопису 08.11.2018*

Михайловський Денис Віталійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра металевих та дерев'яних конструкцій, Завідувач відділу, Відділ докторантури та аспірантури, Київський національний університет будівництва і архітектури. пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03680
E-mail: demyh.ubp@gmail.com

Матющенко Дмитро Миколайович, директор, ТОВ «НКБ «АБП», вул. Авіаконструктора Антонова, 5-Б, м. Київ, Україна, 03680
E-mail: matyuschenko.ubp@gmail.com