

УДК 624.012.26

**МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ГНУТОКЛЕЄНИХ РАМ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ГНУТОКЛЕЁНЫХ РАМ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**METHOD OF CREATION OF THE DESIGN SCHEME OF BENT FRAMES WITH THE METHOD OF FINITE ELEMENTS**

**Михайловський Д.В., к.т.н., доц.** (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ),

**Матющенко Д.М., інж.** (ТОВ «НКБ «АБП», м. Київ)

**Михайловский Д.В., к.т.н., доц.** (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев),

**Матющенко Д.Н. инж.** (ТОВ «НКБ «АБП», г. Киев)

**Mikhaylovskiy D.V. candidate of technical sciences, docent** (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv),

**Matyushchenko D.N. eng.** (LLC “SDB “ABP”, Kyiv)

Розроблена методика створення розрахункових схем гнutoклесних рам за допомогою методу скінчених елементів. Наведено алгоритм розрахунку гнutoклесних рам в програмному комплексі ЛІРА-САПР.

Разработана методика создания расчетных схем гнutoклеёных рам с помощью метода конечных элементов. Приведен алгоритм расчета гнutoклеёных рам в программном комплексе ЛІРА-САПР.

The method of creation of calculation schemes of flattened frames with the help of the finite element method is developed. The algorithm for calculation of bending frames in the software complex LIRA-CAD is presented.

**Ключові слова:**

Метод скінчених елементів, клеєна деревина, гнutoклесна рама, напруження, алгоритм розрахунку.

Метод конечных элементов, клеёная древесина, гнutoклееная рама, напряжения, алгоритм расчета.

Finite element method, glued wood, glued loosen frame, stress, calculation algorithm.

**Вступ.** Для забезпечення надійності та безпечної експлуатації гнукотклеєних рам з клеєної деревини необхідно мати точну методику визначення напружень, які виникають в небезпечних перерізах з точки зору міцності матеріалу. Як показує досвід експлуатації, чисельні та експериментальні дослідження найбільш небезпечним елементом в гнукотклеєних рамах з точки зору міцності є карнизний вузол [1, 2].

Спираючись на результати чисельних досліджень виконаних в роботі [2], можна зробити висновок, що метод скінченних елементів (МСЕ) дає можливість провести достатньо якісний аналіз напружено-деформованого стану.

**Аналіз останніх досліджень.** Методи розрахунку напружень в карнизних вузлах гнукотклеєних рам з клеєної деревини дещо обмежені. Детальніше існуючі методики розглянуті в роботі [3]. Методики, які містяться в нормативних документах та навчальній літературі починаючи з 70-х років мають значні розбіжності в визначенні напружень та дають досить приблизне уявлення про дійсний напружений стан карнизного вузла. Тому є нагальна потреба в розробці якісної методики розрахунку напружень в гнукотклеєних рамах.

**Постановка мети і задачі досліджень.** Мета даного дослідження полягає в розробці методики розрахунку напружень в карнизному вузлі гнукотклеєних рам за допомогою МСЕ. Для досягнення мети треба вирішити наступні задачі:

1. Розробити алгоритм розрахунку гнукотклеєних рам за допомогою МСЕ.
2. Виконати розрахунок за вище наведеним алгоритмом для встановлення дійсного напружено-деформованого стану (НДС) в карнизних вузлах гнукотклеєних рам.

**Методика дослідження.** В роботах [5, 6, 7, 8, 9] доведено, що МСЕ дозволяє досить точно визначати напружено-деформований стан (НДС) в елементах будь-якого обриса, конструктивної форми, при різних видах навантажень. Головна перевага даного методу зручність розрахунку напруженого стану тіл з нерегулярними межами, а також можливість врахування в розрахункових схемах різних граничних умов.

В даний час є досить багато різноманітних універсальних програмних комплексів, які побудовані на основі МСЕ («ЛІРА-САПР», «SCAD», «ANSYS», «ABAQUS» та ін.)

Найрозповсюджений програмний комплекс в Україні, який дозволяє достатньо якісно визначати НДС конструкцій є ЛІРА-САПР. Застосування даного програмного комплексу підтверджується багаторічним досвідом застосування в інженерній та науковій практиках.

Для створення розрахункових схем гнукотклеєних рам обраний програмний комплекс ЛІРА-САПР 2016 ліцензія №1/5627 (далі ПК ЛІРА). Як показує аналіз чисельних і експериментальних досліджень, приведений

в [4], даний комплекс з високим ступенем достовірності враховує анізотропію фізико–механічних властивостей клеєної деревини.

Розрахунок гнотоклеєних рам виконувався з врахуванням пружних характеристик матеріалу, згідно розрахункової схеми, яка наведена на рис. 1. Геометрія рам описувалась координатами вузлів по зовнішньому та внутрішньому контурах, в обох напрямках. Досліджувані рами поділялись ортогональною сіткою на чотириохкутні пластинчасті скінченні елементи (СЕ), які потім розділялись на менші елементи автоматично. Дискретизація конструкції по висоті перерізу виконувалась автоматично, за допомогою інструментів програмного комплексу після визначення кількості необхідних розбиттів.

Рівномірно розподілене навантаження прикладалось за допомогою зосереджених сил, які розміщуються у вузлах сіток СЕ. Також в розрахунковій схемі враховувалось конструктивне локальне збільшення навантаження від ваги покриття та стінового огороження в верхній частині карнизного вузла у вигляді збільшеної зосередженої сили. Розрахунок гнотоклеєних рам рекомендується виконувати по алгоритму (рис. 2), який значно спрощує створення розрахункових схем.

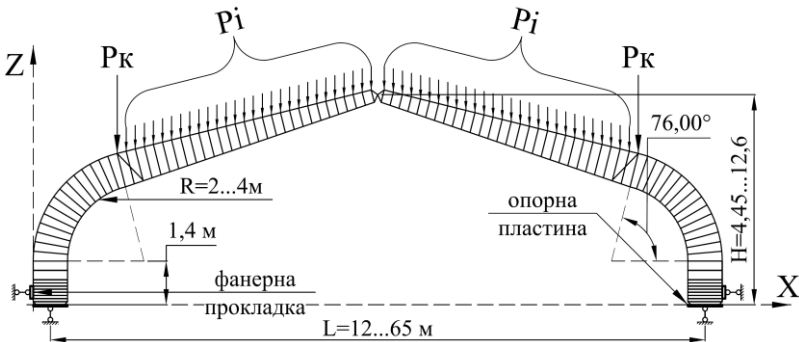


Рис. 2. Розрахункова схема гнотоклеєної рами за методом скінчених елементів

Для встановлення дійсного НДС гнотоклеєних рам були проведені чисельні дослідження рам типу ДГРП з прольотами від 12 до 65 м з різними радіусами кривизни осі симетрії карнизного вузла, а саме 2, 3 та 4 м, з кроком 3 м за вище наведеним алгоритмом. Ухил ригелю прийнятий 14°.

Попередній підбір перерізу рам виконувався з врахуванням геометричної нелінійності згідно вказівок [10]. Внутрішній радіус приймався виходячи з мінімального співвідношення радіусу кривини до товщини дошки  $r/h \geq 150$ , при умові використання дошок 10, 19 та 26 мм.

Це дало змогу охопити практично весь реальний діапазон радіусів кривизни, які можуть застосовуватись в гнотоклеєних рамах.



Рис. 2. Алгоритм розрахунку гнотоклеєної рами в ПК ЛІРА

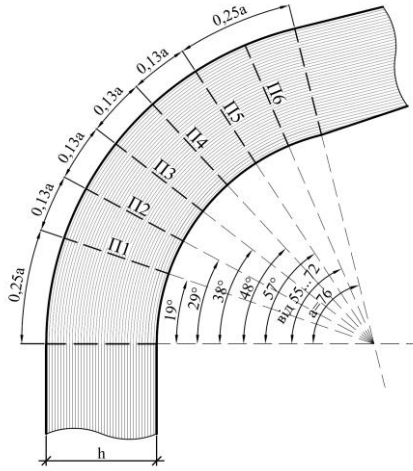


Рис. 3. Розташування розрахункових перерізів в карнизному вузлі гнукотесених рам

Результати розрахунку в ПК ЛІРА гнукотесеної рами марки ДГРП–24–3000–11 наведено на рис. 4–6. Епюри нормальних напружень вздовж волокон  $\sigma_x$ , поперек волокон  $\sigma_y$  та сколюючих напружень  $\tau_{xy}$  в розрахункових перерізах наведені на рис. 7–12.

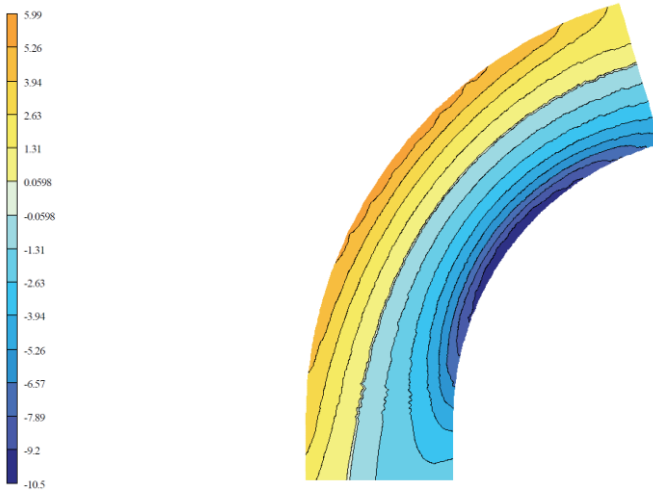


Рис. 4. Розподіл напружень вздовж волокон  $\sigma_x$  в карнизному вузлі гнукотесеної рами марки ДГРП–24–3000–11

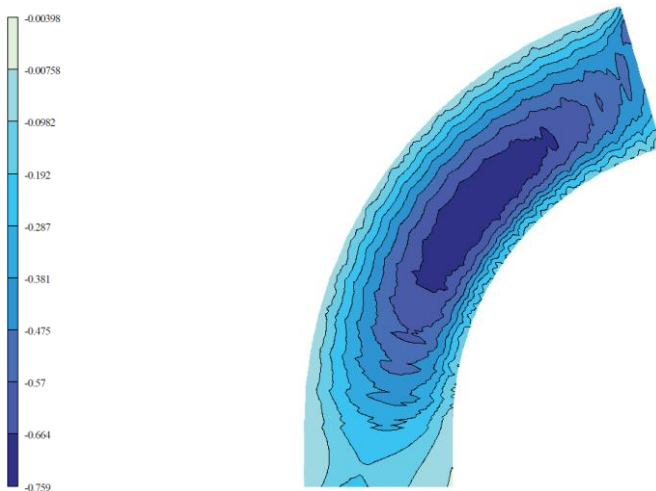


Рис. 5. Розподіл напружень поперек волокон  $\sigma_y$  в карнизному вузлі гнотоклесної рами марки ДГРП–24–3000–11

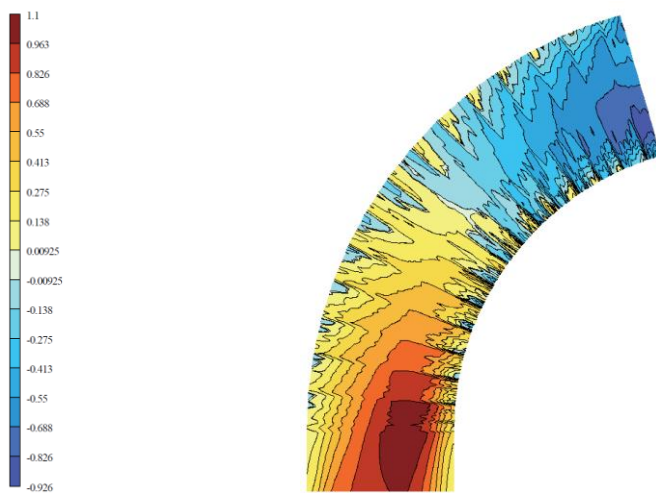


Рис. 6. Розподіл сколюючих напружень  $\tau_{xy}$  в карнизному вузлі гнотоклесної рами марки ДГРП–24–3000–11

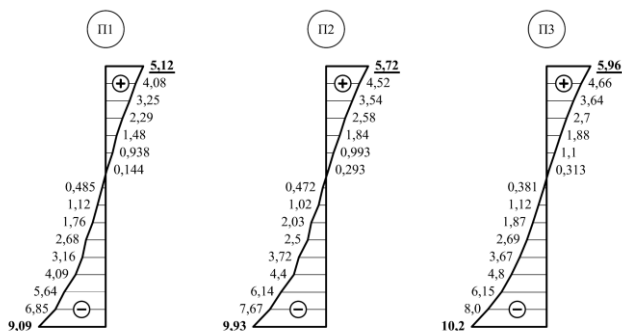


Рис. 7. Епюри напружень вздовж волокон  $\sigma_x$  (МПа) в розрахункових перерізах П1, П2 та П3 для рами ДГРП-24-3000-11.

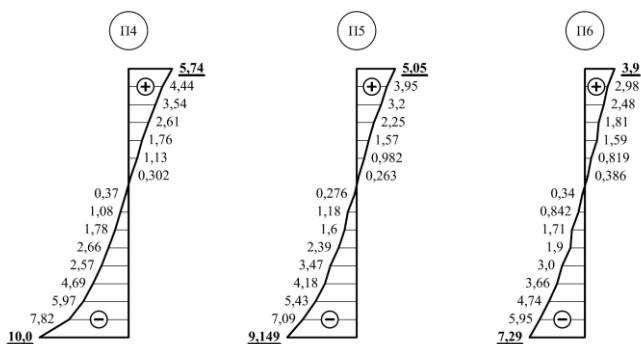


Рис. 8. Епюри напружень вздовж волокон  $\sigma_x$  (МПа) в розрахункових перерізах П4, П5 та П6 для рами ДГРП-24-3000-11.

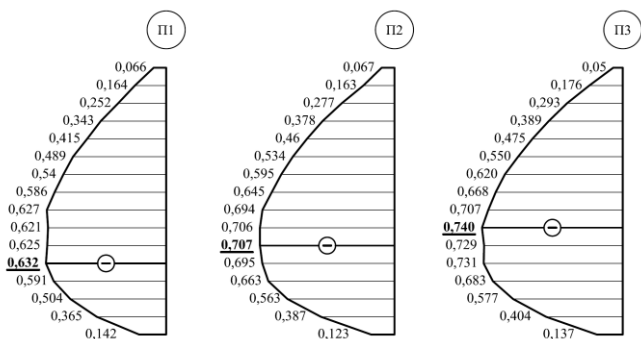


Рис. 9. Епюри напружень поперек волокон  $\sigma_y$  (МПа) в розрахункових перерізах П1, П2 та П3 для рами ДГРП-24-3000-11.

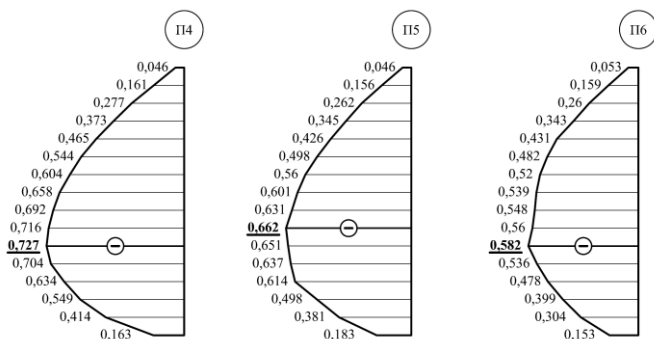


Рис. 10. Епюри напружень поперек волокон  $\sigma_y$  (МПа) в розрахункових перерізах П4, П5 та П6 для рами ДГРП–24–3000–11.

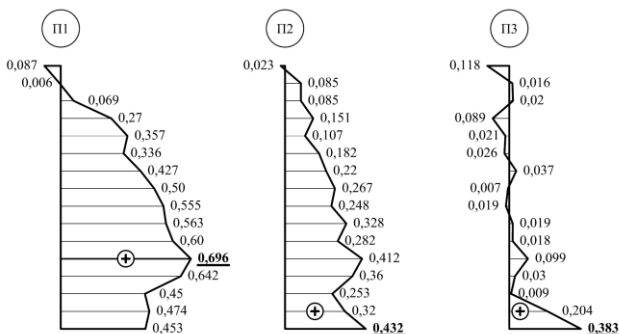


Рис. 11. Епюри дотичних напружень  $\tau_{xy}$  (МПа) в розрахункових перерізах П1, П2 та П3 для рами ДГРП–24–3000–11.

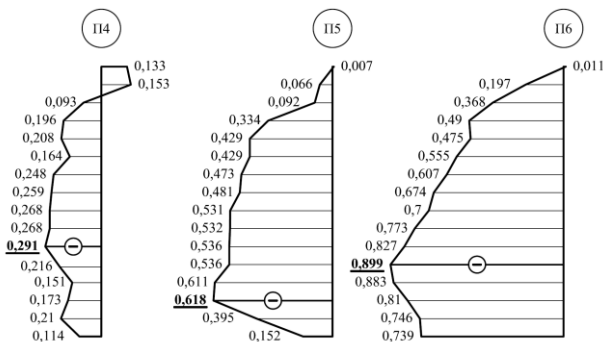


Рис. 12. Епюри дотичних напружень  $\tau_{xy}$  (МПа) в розрахункових перерізах П4, П5 та П6 для рами ДГРП–24–3000–11.



**Результати дослідження.** Розроблено алгоритм розрахунку гнуктоклеєних рам за МСЕ в ПК ЛІРА, що в свою чергу дасть змогу достатньо достовірно аналізувати НДС конструкцій з врахуванням анізотропії фізико-механічних властивостей клеєної деревини.

**Висновки.** Використання ПК ЛІРА дозволило отримати якісну картину розподілу напружень та встановити закономірності зміни напружень по довжині карнизного вузла гнуктоклеєної рами. Застосування МСЕ дає змогу врахувати геометричну нелінійність та анізотропію фізико-механічних властивостей клеєної деревини, що досі не було враховано в існуючих аналітичних методах розрахунку напружень.

Проведено аналіз картин розподілу напружень для подальших досліджень з точки зору складного напруженого стану та розробки інженерної аналітичної методики для розрахунку карнизних вузлів гнуктоклеєних рам, як небезпечного елемента рами, з точки зору оцінки міцності конструкції.

1. Михайловський Д.В., Матющенко Д.М. Напружений стан гнуктоклеєних рам з врахуванням анізотропії фізико – механічних властивостей клеєної деревини. Строительство, материаловедение, машиностроение // Сборник научных трудов. – Вип. №81. – Днепропетровск, ГВУЗ «ПГАСА», - 2015. – с. 124 – 129.
2. Михайловський Д.В., Матющенко Д.М., Смоленський А.О. Вплив нерівномірних осідань опор на напружено – деформований стан карнизного вузла гнуктоклеєних рам. Науковий журнал «ScienceRise». – Вип. №7/2(24). – м. Харків, 2016. – с. 25 – 33.
3. Михайловський Д.В., Матющенко Д.М. Аналіз методик розрахунку гнуктоклеєних рам з клеєної деревини. Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – №25 – Рівне: НУВГП, 2013. – с. 350 – 359.
4. Михайловський Д.В., Матющенко Д.М. Чисельні дослідження експериментальних рам типу ДГРП за допомогою методу скінчених елементів. Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково – виробничий збірник. – Одеса, 2016 – Вип. 2(49). – с.14 – 23.
5. Зенкевич О., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и механике сплошных сред. М.: Недра, 1974. 240 с.
6. Масленников А.М. Расчет строительных конструкций методом конечных элементов.: Учеб. Пособие. Л.: ЛИСИ, 1977. 77 с.
7. Постнов А.В., Хархурин А.В. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. Л.: Судостроение, 1974. 344 с.
8. Розин Л.А. Метод конечных элементов в применении к упругим системам. М.: СИ, 1977. 128 с.
9. Расчет и выбор оптимальных параметров рам с прямолинейным ригелем и гнуктоклееными стойками для сельскохозяйственных зданий: дис..канд. техн. наук: 05.23.01. – М.: РГБ, 2006.
10. Михайловський Д.В., Матющенко Д.М. Порівняння методів розрахунку згинального моменту в карнизних вузлах рам типу РДП та ДГРП з клеєної деревини. Строительство, материаловедение, машиностроение // Сборник научных трудов. – Вип. №75. – Днепропетровск, ГВУЗ «ПГАСА», - 2014. – с. 147 – 153.