

УДК 624.011

## ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЗГІНАЛЬНОГО МОМЕНТУ В КАРНИЗНИХ ВУЗЛАХ РАМ ТИПУ РДП ТА ДГРП З КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ

к.т.н., доц. Михайловський Д.В.,  
асп. Матющенко Д.М..

*Київський національний університет будівництва і архітектури,  
м. Київ*

В останні роки все ширшого застосування в багатьох країнах світу набувають конструкції з клеєної деревини. Найбільш поширеною прольотною конструкцією є рами, з яких побудовано багато складських, промислових та будівель спортивного призначення тощо.

Найбільш технологічними є рами з прямолінійних елементів з'єднаних по бісектрисному куту на зубчастий шип, такі рами отримали назву РДП та випускаються за серією 1.822-4 вип.0,1. Але такі рами мають декілька конструктивних недоліків. Найбільш досконалою конструктивну форму мають рами типу ДГРП, які мають криволінійний стійко-карнизний блок, який з'єднаний з прямолінійним ригелем на зубчастий шип. Таке конструктивне рішення є більш економічним в порівнянні з рамами РДП при однакових загальних об'ємах деревини. Більш детально розглянуто в статті авторів [1].

В елементах карнизних вузлах рам типу РДП та ДГРП виникають стиснуто-згинальні зусилля. У вітчизняній практиці проектування для розрахунку таких елементів, застосовується формула складного опору, в якій при визначенні розрахункового згинального моменту в деформованому стані застосовується формула, що була розроблена майже сто років тому проф. Заврієвим К.С. [2]. В нормативних документах: ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012, СТО 36554501-002-2006 та СП 64.13330.2011, які фактично є актуалізованими версіями СНиП П-25-80 [3-6] та в навчальній літературі [8-11] містяться формули для визначення розрахункового згинального моменту для елементів рам типу РДП (1) та для рам типу ДГРП (2), що мають такий вигляд (записано в позначеннях ДСТУ):

$$M_d = \frac{M}{k_{m,c}}; \quad (1)$$

$$M_d = \frac{M_1}{k_{m,c}}; \quad (2)$$

$$\text{де } k_{m,c} = 1 - \frac{N}{\varphi_c \cdot f_{c,0,d} \cdot A_d}; \quad M_1 = M_{(1)} - N \cdot z; \quad \varphi_c = \frac{C}{\lambda^2}; \quad z = \frac{h^2}{12};$$

$M$  – згинаючий момент в розрахунковому перерізі без врахування додаткового моменту від повздовжньої сили;  $M_1$  – згинаючий момент в розрахунковому перерізі з врахуванням розвантажувального моменту

від зміщення центральної осі поперечного перерізу;

$k_m, c$  – коефіцієнт, який враховує додатковий момент від повздовжньої сили, внаслідок прогину елемента;  $M(l)$  – згинальний момент в розрахунковому перерізі, без врахування деформованої схеми;  $N$  – стискаюче внутрішнє зусилля в розрахунковому перерізі;  $\Phi_c$  - коефіцієнт повздовжнього згину;  $C$  – постійна, яка для деревини становить 3000;  $\mathcal{N}$  - гнучкість елемента прямокутного перерізу;  $z$  – відстань від центральної осі поперечного перерізу до нейтральної осі;  $h$  - висота поперечного перерізу.

Вище наведені формули (1) та (2) відображають дійсне фізичне явище в стиснуто-згинальних елементах з гнучкістю в площині згину  $\mathcal{N} > 55$ . Для рам типу РДП и ДГРП гнучкість елементів знаходиться в діапазоні  $20 < \mathcal{N} < 40$ . При таких гнучкостях існуюча методика визначення згинального моменту по деформованій схемі перестає адекватно відображати фізичне явище. Для підтвердження цього судження були проведені числові дослідження для визначення дійсного згинального в карнизних вузлах рам різних типів, а саме тип РДП прольотами від 12 до 50 м та рами типу ДГРП прольотами від 12 до 65 м з різними радіусами вигину карнизних вузлів.

Для рам типу ДГРП було вибрано три типи радіусів вісі симетрії перерізу, а саме: 2000, 3000 та 4000 мм. Для рам було прийнято розрахункове навантаження 11,14 кН/м, враховуючи крок рам 6м. Елементом рам задавалися наступні фізико-механічні характеристики,  $f_{m,d} = f_{c,0,d} = 15$  МПа (для 2 сорту деревини), модуль пружності  $E_0 = 10000$  МПа. Підбір поперечного перерізу елементів рам виконувалось згідно вимог ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012 [3]. Розрахункові схеми наведені на рисунку 1 та 2.

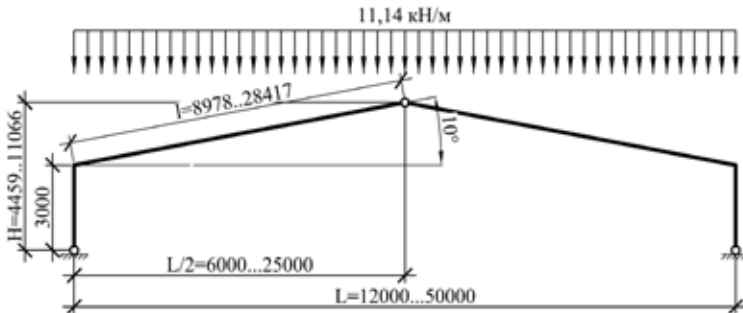


Рис.1. Розрахункова схема рам типу РДП прольотами від 12 до 50м.

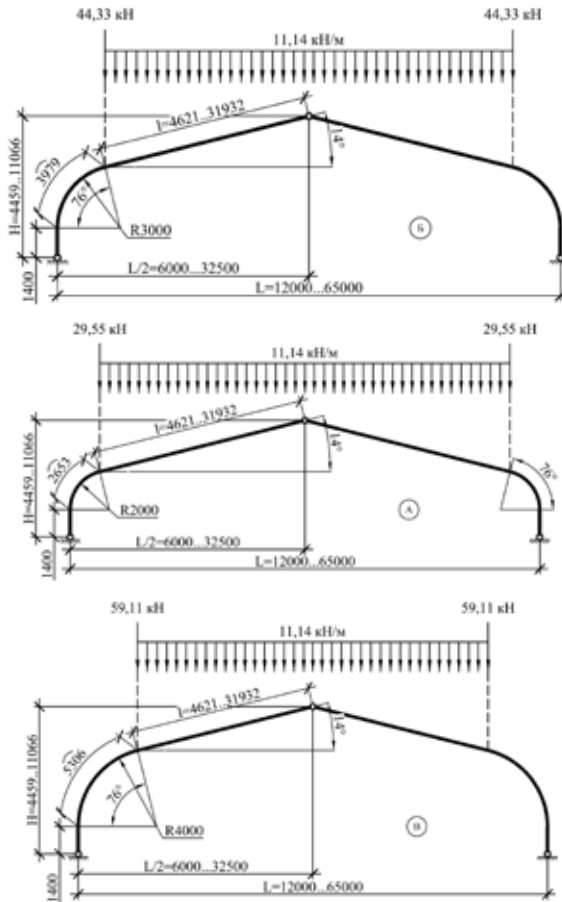


Рис 2. Розрахункова схема рам типу ДГРП прольотами від 12 до 65 м, А – с радіусом осі симетрії 2000 мм; Б – с радіусом 3000 мм, В – с радіусом 4000 мм.

Враховуючи, що в стиснуто-зігнутих елементах додатковий момент від нормальної сили є функцією переміщень, тому можна припустити, що розрахунок в програмному комплексі ЛІРА 9.6 (далі ПК ЛІРА 9.6) за допомогою методу скінчених елементів (МСЕ) та правильно побудована розрахункова схема, дає найбільш достовірні результати по визначенню внутрішніх зусиль з врахуванням деформованої схеми (геометрично-нелінійний розрахунок).

Для рам типу РДП та ДГРП були розроблені розрахункові схеми в ПК Ліра 9.6, розрахунок вівся в геометрично-нелінійній постановці з застосуванням скінченного елемента типу 310 та лінійній постановці, тип елемента – 2. Отримані значення згинальних моментів в ПК ЛІРА

9.6 порівнювались зі значеннями згинального моменту визначені по деформованій схемі визначені за формулою проф. Заврієва К.С. (1) та (2). При моделюванні нелінійного завантаження обирався автоматичний вибір кроку з пошуком нових форм рівноваги. Результати порівняння для рам типу РДП та ДРПІ наведені в табл. 1-4.

*Таблиця 1*

*Порівняння згинального моменту в рамках типу РДП визначеного за різними методами*

L, м	Максимальні внутрішні зусилля, мНм		Згинальний момент Md, мНм (Заврієв К.С)	Різниця між M(nl) та Md	Різниця між M(nl) та Ml
	лін.	нелін.			
	M(l)	M(nl)			
12	-0.141	-0.142	-0.143	0.7	0,7
18	-0.296	-0.298	-0.3	0.7	0,7
21	-0.38	-0.383	-0.385	0.5	0,8
24	-0.471	-0.474	-0.477	0.6	0,6
36	-0.874	-0.878	-0.892	1.6	0,5
42	-1.094	-1.099	-1.119	1.8	0,5
50	-1.4	-1.407	-1.436	2,1	0,5

*Таблиця 2*

*Порівняння згинального моменту в рамках марок ДРПІ-12..65-2000-11 визначеного за різними методами*

L, м	Максимальні внутрішні зусилля, мНм		КЕ	Розрахунковий згинальний момент. Мрозр, мНм	Згинальний момент Md, мНм (Заврієв К.С)	Різниця між M(nl) та Md	Різниця між M(nl) та Мрозр
	лін.	нелін.					
	M(l)	M(nl)					
12	-0.106	-0.107	9	-0.104	-0.106	0.9	2.9
15	-0.151	-0.151	10	-0.147	-0.15	0.7	2.7
18	-0.202	-0.203	11	-0.194	-0.199	2.0	4.6
21	-0.256	-0.257	12	-0.243	-0.248	3.6	5.8
24	-0.317	-0.319	13	-0.297	-0.304	4.9	7.4
36	-0.585	-0.589	14	-0.513	-0.523	12.6	14.8
42	-0.735	-0.734	14	-0.646	-0.665	10.4	13.6
50	-0.938	-0.94	14	-0.803	-0.832	13.0	17.1
65	-1.343	-1.344	15	-1.095	-1.153	16.6	22.7

*Таблиця 3*

*Порівняння згинального моменту в рамах марок ДРГП-12..65-3000-11 визначеного за різними методами*

L, м	Максимальні внутрішні зусилля, мНм		КЕ	Розрахунковий згинальний момент. Мрозр, мНм	Згинальний момент Md, мНм (Заврієв К.С)	Різниця між M(nl) та Md	Різниця між M(nl) та Мрозр
	лін.	нелін.					
	M(l)	M(nl)					
12	-0.118	-0.119	11	-0.116	-0.119	0.0	2.6
15	-0.162	-0.163	12	-0.159	-0.162	0.6	2.5
18	-0.213	-0.216	13	-0.208	-0.213	1.4	3.8
21	-0.27	-0.271	13	-0.262	-0.268	1.1	3.4
24	-0.334	-0.336	14	-0.321	-0.33	1.8	4.7
36	-0.628	-0.633	16	-0.582	-0.604	4.8	8.8
42	-0.793	-0.8	17	-0.736	-0.76	5.3	8.7
50	-1.029	-1.032	18	-0.942	-0.973	6.1	9.6
65	-1.498	-1.501	19	-1.338	-1.373	9.3	12.2

*Таблиця 4*

*Порівняння згинального моменту в рамах марок ДРГП-12..65-4000-11 визначеного за різними методами*

L, м	Максимальні внутрішні зусилля, мНм		КЕ	Розрахунковий згинальний момент. Мрозр, мНм	Згинальний момент Md, мНм (Заврієв К.С)	Різниця між M(nl) та Md	Різниця між M(nl) та Мрозр
	лін.	нелін.					
	M(l)	M(nl)					
12	-0.138	-0.139	13	-0.137	-0.139	0.0	1.5
15	-0.179	-0.181	13	-0.177	-0.181	0.0	2.3
18	-0.23	-0.233	14	-0.226	-0.231	0.9	3.1
21	-0.288	-0.289	15	-0.282	-0.289	0.0	2.5
24	-0.352	-0.356	16	-0.342	-0.35	1.7	4.1
36	-0.661	-0.667	18	-0.627	-0.657	1.5	6.4
42	-0.84	-0.847	19	-0.798	-0.822	3.0	6.1
50	-1.094	-1.098	19	-1.03	-1.06	3.6	6.6
65	-1.62	-1.625	21	-1.503	-1.537	5.7	8.1

З таблиці 1 видно, що для рам типу РДП визначення згинального моменту за методикою норм проектування [3-6] та розрахунком в ПК ЛРА 9.6 в геометрично нелінійній постановці різняться між собою в межах від 0,7 до 2,1 %. Тому можна зробити висновок, що формула (1) враховує деформований стан конструкції, а нелінійний розрахунок для таких рам є необов'язковим. Але, слід зазначити, що різниця результатів розрахунку внутрішніх зусиль з врахуванням деформованої схеми та без нього становить не більше 5%, що говорить про незначний вплив деформацій на перерозподіл внутрішніх зусиль. Таке явище пов'язано з великою жорсткістю поперечних перерізів рам РДП. Таким чином врахування деформованої схеми або виконання розрахунків з врахуванням геометричної нелінійності, для рам такого типу не обов'язкове.

Для рам типу ДГРП, слід відмітити наступне:

- скінчений елемент з максимальними внутрішніми зусиллями в карнизному вузлі при збільшенні радіусу від 2 до 4 м зміщується від бісектрисного кута ближче до ригеля. Це дає змогу стверджувати, що обмежитись перевіркою міцності тільки в бісектрисному куті, як це рекомендується чинними нормами проектування [3-7] та стверджується в навчальній літературі [8-11], не достатньо для забезпечення надійності усієї рами (рис. 3);

- розбіжність розрахунку згинального моменту в нелінійній постановці з формулою (2) для рам типу ДГРП є більш суттєвою (табл. 2-4). При збільшенні радіусу вигину осі симетрії перерізу похибка при розрахунку згинального моменту за формулою (2) зменшується, але все одно не є прийнятною для інженерного розрахунку. Похибка при радіусі  $R = 2000$  мм - від 0,9 до 16,6%,  $R = 3000$  мм – від 0 до 9,3%,  $R = 4000$  мм – 0 до 5,7%;

- розрахунок рам типу ДГРП слід проводити не за аналітичними формулами норм проектування, а лише в сучасних програмних комплексах з обов'язковим врахуванням геометричної нелінійності.

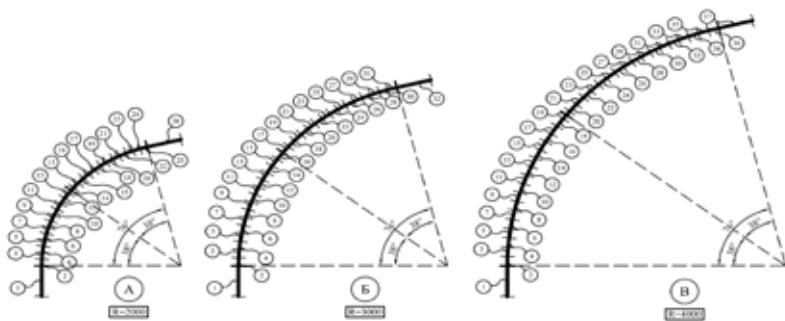


Рис 3. Нумерація скінчених елементів в карних вузлах рам типу ДГРП прольотами від 12 до 65 м, А – с радіусом осі симетрії 2000 мм; Б – с радіусом 3000 мм, В – с радіусом 4000 мм.

Враховуюче вище сказане методика для рам типу ДГРП запропонована в нормативній та навчальній літературі [3-11] не відповідає дійсності, згинальний момент за формулою (2) має занижені значення в порівнянні з найбільш точним розрахунком за допомогою МСЕ в геометрично нелінійній постановці, цей факт не забезпечує надійної роботи рамної конструкції.

Для забезпечення надійності рам типу ДГРП, які є найбільш вдалою конструктивною формою для рамних конструкцій, є гостра необхідність уточнення нормативної методики розрахунку криволінійних ділянок рам з клееної деревини.

Це ще раз підтверджує думку про те, що не завжди формальний перенос вдалої методики розрахунку для одних елементів на інші елементи конструкцій з клееної деревини, без ретельного обґрунтування є доцільним.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Еволюція карнизних вузлів рам з клееної деревини. Михайловський Д.В., Матющенко Д.М. // Строительные материалы и изделия. Всеукраинский научно-технический и производственный журнал. №3 (74) – Киев, 2012 – с. 27-29
2. Завриев К.С. Расчет стержней на одновременное действие изгиба и осевого сжатия. – Тифлис. – 1932.
3. ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012. Конструкції з цільної і клееної деревини. Настанова з проектування. – К.: Мінрегіонбуд, 2013. – 120 с.
4. СТО 36554501-002-2006. Деревянные клееные и цельнодеревянные конструкции. Методы проектирования и расчета. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2006.
5. СП 64.13330.2011. Деревянные клееные и цельнодеревянные конструкции. Методы проектирования и расчета. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2011.
6. СНиП II-25-80 Деревянные конструкции / Госстрой СССР – М.: Стройиздат, 1982. - 66с.
7. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М. : Стройиздат, 1986. – 216 с.
8. Серов Е.Н. Проектирование деревянных конструкций: учеб. пособие / Е.Н. Серов, Ю.Д. Санников, А.Е. Серов; под. ред. Е.Н. Серова; – М.: Издательство АСВ, 2011. – 236 с.
9. Кліменко В.З. «Конструкції з дерева і пластмас»: Підручник / В.З. Кліменко – К.: «Вища школа», 2000 р. – 304 с.
10. Конструкции из дерева и пластмасс: Учебник для вузов // Ю.В. Слицкоухов, В.Д. Буданов, М.М. Гаппоев и др. Под ред. Карлсена Г.Г. и Слицкоухова Ю.В. - 5-е изд., перераб и дополн. - М.: Стройиздат, 1986. - 543 с.
11. М.М. Гаппоев, И.М. Гуськов, Л.К. Ермоленко, В.И. Линьков, Е.Т. Серова, Б.А. Степанов, Э.В.Филимонов Конструкции из дерева и пластмасс. Учебник. -М: Издательство АСВ, 2004, - 440 с.