

УДК 624.072.33

д.т.н., проф. Першаков В.М.,  
Національний авіаційний університет м. Київ

## ЕФЕКТИВНІ ТИПИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ

*Приведено особливості проектування залізобетонних рамних конструкцій прольотом 18 і 21м, дана оцінка ефективності їх використання. Викладені особливості методу розрахунку, конструювання та експериментального дослідження залізобетонних рамних конструкцій.*

**Ключеві слова:** залізобетонні рами, стояки, ригелі, міцність, стійкість, жорсткість, тріщиностійкість.

**Актуальною проблемою** є розробка ефективних рішень і методів розрахунку каркасних будівель з тришарнірних залізобетонних рам для будівництва сільськогосподарських промислових будинків, зальних приміщень сільських громадських будівель і споруд аеродромів сільгоспавіації.

**Метою роботи** є експериментальне дослідження, теоретичне узагальнення, розвиток теорії розрахунку за міцністю, стійкістю, деформаціями і тріщиностійкістю та конструювання ефективних залізобетонних рамних каркасів маломатеріаломістких будівель змінного перерізу /1/.

Поставлена мета досягається розв'язанням наступних **наукових задач**:

1. Розвинути і вдосконалити методи розрахунку міцності, стійкості, жорсткості і тріщиностійкості рамних конструкцій, а також методику визначення ефективних геометричних розмірів несучих залізобетонних рам змінного перерізу за допомогою програмного комплексу ЛІРА.

2. Розробити новий спосіб виготовлення ефективних за витратами бетону та сталі рам змінного перерізу та відповідні конструктивні форми елементів. Створити нові конструктивні рішення рамних каркасів змінного перерізу, які відповідають сучасним вимогам на рівні винаходів.

3. Встановити закономірності впливу генеральних розмірів ефективних рам (прольоту, висоти, кута нахилу і форми ригеля, ступінь змінності перерізу) на значення  $M$ ,  $N$ ,  $Q$  стояків та ригелів рам.

4. Експериментально визначити міцність, стійкість, жорсткість і тріщиностійкість у натурних тришарнірних залізобетонних рам прольотом 12, 18 і 21м з використанням різних методик випробувань.

**Матеріал дослідження.** Проведено огляд та аналіз 5 закордонних конструкцій рам; 47 конструкцій рам та 15 винаходів країн СНД. Каркасні споруди з тришарнірних рам відрізняються застосовуваними прольотами, поздовжніми кроками рам, висотами стояків, нахилами ригелів, армуванням,

класом бетону, що не відповідає вимогам єдиної модульної системи та уніфікації габаритних схем сільськогосподарських споруд.

Аналіз статичної схеми рамного каркасу будинку дозволив зробити вибір і обґрунтування переваги тришарнірної рами у порівнянні з безшарнірною, одно і двошарнірною рамами. Тришарнірні рами менш чутливі до нерівномірних осідань. При шарнірному з'єднанні можлива незалежна типізація ригелів та стояків. Тому для подальшого аналізу використано тришарнірну раму. Проведений вибір і обґрунтування об'ємне-планувальних і конструктивних рішень рамних каркасів будинків показує, що найменш матеріаломісткими і найбільш ефективними конструкціями є залізобетонні рами прольотами 18м і 21м із кроком 6м і висотою стояка 3,3 і 3,6м.

Обґрунтування розрахункових схем навантажень і удосконалення методики розрахунку тришарнірних рам для каркасних будинків за міцністю, жорсткістю, тріщиностійкістю з урахуванням деформованої схеми, геометричної і фізичної нелінійності проведено за ПК ЛІРА. При чисельному дослідженні ураховано нелінійні залежності між напруженнями і деформаціями, зумовленими зміною форми конструкції (геометрична нелінійність) і явищами пластичності, повзучості і усадки (фізична нелінійність).

Встановлено вплив розміщення по висоті стягтя на напружено-деформований стан рами. Найменші зусилля виникають, коли стягель на рівні +3.300 в рамах з трьома шарнірами найменше впливає на напружено-деформований стан рами.

Встановлено також, що при випробуванні рам з висотою стояків 5,1 м і 5,7 м в результаті значних переміщень змінюється розрахункова схема рами і збільшуються діючі зусилля ( $M$ ,  $N$ ,  $Q$ ), особливо згинальний момент, який зростає від 5 до 30 % по довжині ригеля і стояка. Таким чином, переміщення рам із збільшеною висотою стояків впливає на несучу здатність конструкцій.

Аналіз напружено-деформованого стану рами показав, що у вузлі спряження ригеля зі стояком сумісно діють максимальний згинаючий момент, поздовжня і поперечна сили, а сам вузол працює як позацентрово стиснутий елемент з великим ексцентриситетом (рис.1,2а).

Розроблено та досліджено спосіб виготовлення арматурних каркасів непрямокутних залізобетонних конструкцій піврам за а.с. №681168. Для утворення арматурних каркасів спочатку виготовляють поздовжні та поперечні арматурні стержні, які збирають в прямокутні секції 1 і 2, а потім з'єднують між собою за допомогою електрозварювання закладної деталі 3 (рис. 2б).

Гнута сталева пластина 3 передає навантаження на бетон рівномірно по всій поверхні, не викликаючи концентрації напружень (рис.2б). Результати

випробування показали надійність карнизних вузлів піврам з гнutoю закладною деталлю.

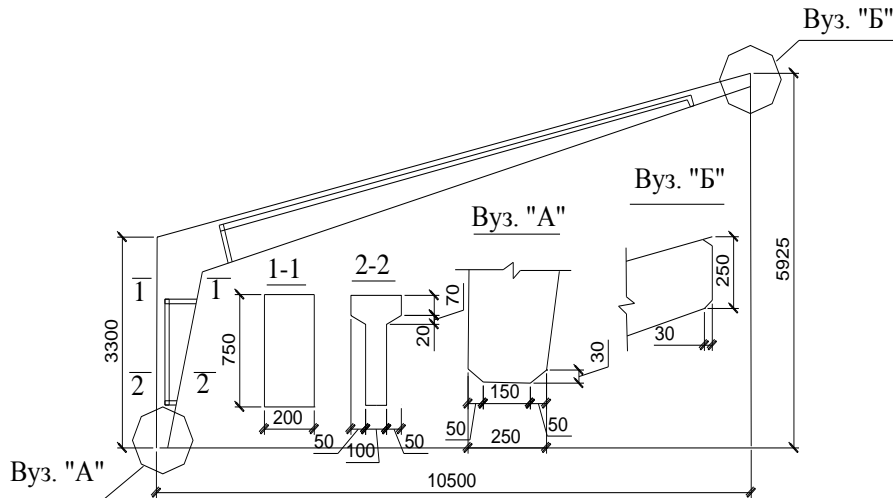


Рис. 1 - Суцільна піврама таврового перерізу

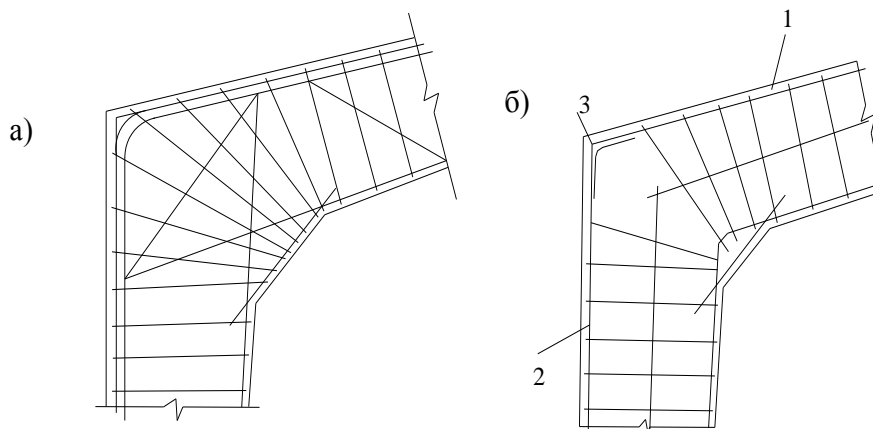


Рис. 2 - Армування вузла з'єднання ригеля зі стояком:

а – гнутими арматурними стержнями; б – за допомогою гнutoї закладної деталі; 1,2 – арматурний каркас; 3 – гнута закладна деталь

Вузол спрєження ригеля зі стояком складеної піврами розрізаний таким чином, щоб гнута закладна деталь залишалася в тілі бетону ригеля (рис.3).

Розрізка елементів рами виконана під кутом, що забезпечує зведення дотичних напружень до мінімальних значень. Рішення вузла сполучення ригеля зі стояком без вута веде до подальшого спрєщення ригеля і стояка (рис. 4).

Проведено вибір і обґрунтування складеної і суцільної піврам, класу бетону, форми перерізів ригелів і стояків піврам таврового перерізу, спрєщеного армування піврам з урахуванням виготовлення їх у касетних формах.

Розроблені та досліджені нові конструкції карнизного вузла рами за а.с. №1028811, №815182; новий спосіб виготовлення арматурних каркасів

конструкцій за а.с. № 1813860; поперечне армування арматурних каркасів у вигляді плоскої спіралі; нові конструкції гребеневого вузла рами за а.с. № 1028811.

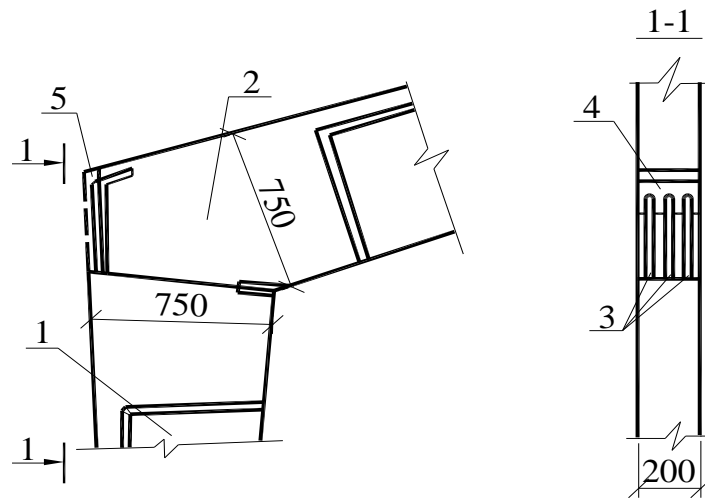


Рис. 3 - Конструкція з'єднання ригеля зі стояком піврами:  
1 – стояк; 2 – ригель; 3 – арматурні випуски; 4 – закладна деталь

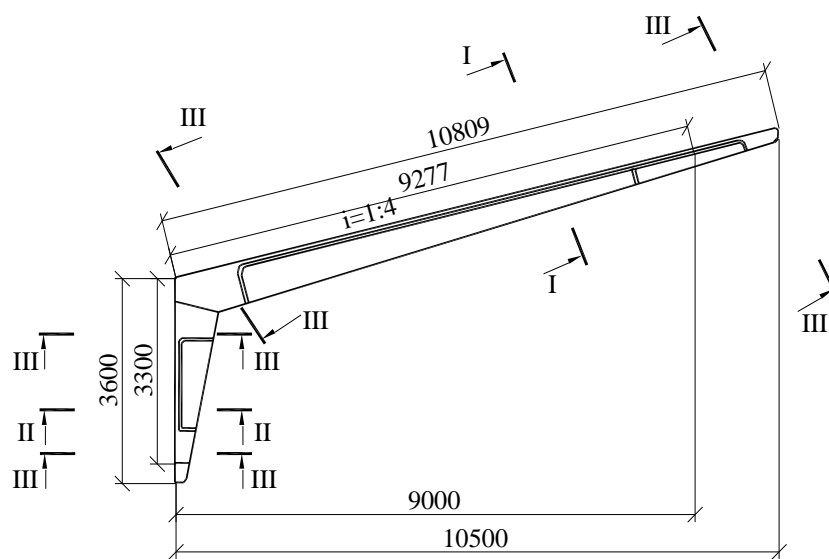


Рис. 4 - Опалубні розміри складених піврам таврового перерізу

Розроблені робочі креслення і номенклатура 24 марок суцільних і складених піврам РЖ і РЖС таврового перерізу для каркасних будинків шириною 18 і 21 м з висотою стояка 3,3 м і 3,6 м під навантаження ригеля 7,5; 13,5; 16,0 кН/м (рис.4). Піврами типу РЖ і РЖС є найбільш економічними за витратами бетону і сталі при найменшій масі.

Розроблена нова методика та стенди випробування натурних тришарнірних залізобетонних рам прольотом 12, 18, 21 м за допомогою важілевої системи з навантаженнями штучними вантажами; за допомогою підвішених до ригеля рами баків з водою.

Випробування 42 тришарнірних залізобетонних рам проводили у 13 лабораторіях заводів ЗБК та ЗБВ України. Руйнування рамних конструкцій відбувалося в ригелі (21 рама), стояку (12рам) поблизу карнизного вузла, в ригелі в зоні позитивного моменту (6рам), в карнизному вузлі (3 рами) з досягненням або текучості сталі в розтягнутій арматурі, або роздроблення бетону стиснутої зони, або розрив поздовжньої розтягнутої арматури.

Підтверджена доцільність методики розрахунку і принципів конструювання, а також відповідність якості виготовлення піврам вимогам проекту і чинним нормам, що дає можливість рекомендувати тришарнірні залізобетонні рами до впровадження в будівництві.

Було отримано результати випробувань 18 суцільних і 24 складених рам. Тому важливим є дослідження напруженого стану карнизного вузла складених рам та їх деформованість.

В складених рамах типу РЖС розрізання здійснювали в карнизному вузлі ближче до стояка. В стиснутій зоні ригель і стояк об'єднуються за допомогою зварювання закладних деталей через центрову прокладку. В розтягнутій зоні – за допомогою зварювання випусків робочої арматури стояка до закладних деталей відповідно ригеля. Звідси в карнизному вузлі утворився сухий стик з штучною тріщиною, зусилля в якому в розтягнутій зоні сприймала робоча арматура, а в стиснутій – за допомогою закладних деталей ригеля і стояка. Бетон в роботі самого напруженого вузла спряження ригеля зі стояком рами не бере участі.

Зіставлення результатів випробування складених і суцільних піврам показало, що розрізка у вузлі спряження ригеля зі стояком не дає суттєвого впливу на міцність, жорсткість (деформованість) і тріщиностійкість піврам.

Розкріплення ригеля рами проводили кутниками на зварюванні по довжині через 1,5 м в 14 рамах, через 1,8 м в 2 рамах, через 3,0 м в 11 рамах, усього в 27 рамах. Втрати місцевої або загальної стійкості елементів рами не спостерігалось.

Проведено аналіз порівняння результатів теоретичних досліджень на ПК ЛПРА з даними експерименту у тришарнірних залізобетонних рамах з високими стояками 5,1 і 5,7 м, розрахованих за деформованою і недеформованою схемами, встановило, що руйнуюче зусилля, обчислене за недеформованою схемою, від 12 до 27 %, а за деформованою схемою лише на 6% більше дослідного. Отже, урахування деформованої схеми рамного каркасу при розрахунку його міцності, жорсткості і тріщиностійкості більш точно відображає його дійсний напружено-деформований стан.

Отримані результати розрахунку 42 рам на ПК ЛПРА та співставлення їх з експериментальними даними показують, що розбіжності між

експериментальними та розрахунковими даними за міцністю та деформаціями знаходяться у межах 10 %.

### **Висновки.**

1. Удосконалено методику розрахунку ефективних залізобетонних рамних каркасів прольотом 18 і 21 м за міцністю, стійкістю, жорсткістю та тріщиностійкістю з урахуванням деформованої схеми, геометричної та фізичної нелінійності за ПК ЛПРА. Виявлено найбільш економічну таврову форму перерізу ригелів і стояків піврам, спрощено армування піврам та їх вузлів з урахуванням виготовлення їх у касетних формах. Запропоновано рекомендації щодо удосконалення конструкцій піврам і технології їх виготовлення.

2. Розроблено новий спосіб виготовлення арматурного каркасу рам; нове обладнання для монтажу рамних каркасів; нове конструктивне рішення рами залізобетонного каркаса будівлі; нові стикові з'єднання ригеля зі стояком в карнизному вузлі; нове з'єднання ригелів в гребеневому вузлі, що підтверджено 17 а.с. на винахід, розробленою робочою документацією 24 марок суцільних і складених піврам РЖ і РЖС таврового перерізу для каркасних будинків прольотом 18 й 21 м із кроком 6м і висотою стояка 3,3 й 3,6 м під уніфіковані навантаження 7,5, 13,5, 16,0 кН/м ригеля з урахуванням різних варіантів покриття.

3. Проведено вибір й обґрунтування ефективності складеної й суцільної піврам, класу бетону, таврової форми перерізу ригелів і стояків піврам, спрощення армування піврам з урахуванням виготовлення їх у касетних формах. Армування вузла сполучення ригеля зі стояком суцільних і складених піврам значно спрощується при застосуванні роздільного способу армування з використанням гнutoї закладної деталі за а.с. № 681168. Розрізання піврам у вузлі сполучення ригеля зі стояком зроблено з метою спрощення технології виготовлення й транспортування складених елементів, призводить до додаткової операції з укрупнювального складання. Разом з тим в Україні застосовують обидва типи залізобетонних піврам – суцільні й складені, які мають свої переваги й недоліки.

4. Результати проведених експериментально-теоретичних досліджень свідчать, що запропоновані конструкції тришарнірних залізобетонних рам РЖ і РЖС відповідають нормативним вимогам за міцністю, жорсткістю й тріщиностійкістю. Зіставлення результатів розрахунку з експериментальними даними показало задовільну їхню збіжність з відхиленням до 10% за міцністю, жорсткістю. Експериментальне дослідження рам показало надійність армування вузла сполучення ригеля зі стояком з використанням гнutoї закладної деталі, карнизний вузол у складених піврамах з сухим зварним стиком не впливає на деформованість рам. Зі збільшенням висоти стояка до 5,1-

5,7 м зростає деформованість рам, що впливає на величину і розподіл зусиль в елементах рами.

5. В останні роки залізобетонні рамні конструкції прольотом 18 і 21м використанні в таких об'єктах. В 2008–2010 р.р. інститутами об'єднання «УкрНДІагропроект» розроблені проекти будівництва і реконструкції існуючих ферм для створення молочних товарних ферм, корівників, птахоферм в Київській (с. Великий Крупіль), Полтавській (с. Штомпелівка), Рівненській (с. Береги), Дніпропетровській (с. Єкатеринівка), Харківській (с. Комунарське), Донецькій (с. Волноваха) областях. В 1990–2000 роках підприємством «УкрНДІпроцивільсільбуд» запроєктовано та побудовано три громадських будівлі з зальними приміщеннями (спортзал, басейн, кінотеатр) в Дніпропетровської, Житомирської та Київської областях. В 2011 році запроєктовано та побудовано вісім будівель з виробничими приміщеннями в с. Шпитьки Київської області. В проектах інституту «Украеропроект» передбачені будівництво та реконструкція виробничих будинків (ангари ділової авіації, бази спецтранспорту, майстерні та склади різного призначення) в аеропортах «Львів», «Дніпропетровськ» та «Одеса».

### Перелік використаної літератури

1. Першаков В.М. Створення ефективних типів залізобетонних рамних конструкцій з несучими елементами змінного перерізу: автореф. дис... докт. техн. наук: 05.23.01 / Першаков Валерій Миколайович; Київський нац. університет будівництва і архітектури .- К., 2012. – 40с.

### Аннотація

Приведены особенности проектирования железобетонных рамных конструкций прольотом 18 и 21м, дана оценка эффективности их использования. Изложены особенности методов расчета, конструирования и экспериментального исследования железобетонных рамных конструкций.

**Ключевые слова:** железобетонные рамы, стойки, ригели, прочность, устойчивость, жесткость, трещиностойкость.

### Annotation

New constructive solutions of effective reinforced concrete frames of variable section and their units have been developed as inventions. There have been improved and introduced a variety of techniques of experimental and theoretical research, calculation effective sizes of I-section frames.

**Keywords:** reinforced concrete frames, bars, girders, durability, stability, rigidity, crackresistance.