

УДК 624.072.33

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ З ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ РАМНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ

Першаков В.М.

*Національний авіаційний університет м. Київ*

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

*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.*

*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.*

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

**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.

Робота містить результати дослідження випробувань тришарнірних залізобетонних рам, зібраних із суцільних і складених піврам типу РЖ і РЖС таврового перерізу, які проводили з метою визначення їх фактичної несучої здатності, стійкості, жорсткості, тріщиностійкості, характеру і місць руйнування, а також для порівняння результатів випробування з даними розрахунку. Результати випробувань дозволили оцінити правильність прийнятої методики розрахунку залізобетонних рам.

Розроблено нова методика та стени випробування натурних тришарнірних залізобетонних рам прольотом 18, 21м за допомогою важілевої системи з навантаженнями штучними вантажами (рис.1); за допомогою підвішених до ригеля рами баків з водою (рис.2).

Завантаження ригеля рам проводили вісьма зосередженими силами, по 4 на кожному півпрольоті. Як вантажі використовували попередньо зважені залізобетонні перемички або фундаментні блоки.



Рис. 1. Випробування рами завантаженням штучними вантажами

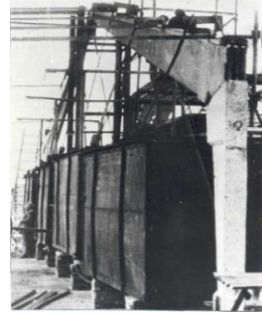


Рис. 2. Випробування рами завантаженням баками з водою

Нижче розглянуто результати випробувань 42 тришарнірних залізобетонних рам, які проводили у 13 ОНІЛ і лабораторіях заводів ЗБК та ЗБВ України.

За результатами проведених експериментально-теоретичних досліджень 42-х тришарнірних залізобетонних рам визначена їх фактична несуча здатність, стійкість, жорсткість і тріщиностійкість, а також відповідність якості виготовлення піврам вимогам проекту і діючим нормативним документам. При симетричному навантаженні розрахункові значення досягають зусиль в зоні карнизного вузла. При несиметричному – поблизу гребеневого вузла в зоні позитивного моменту.

Руйнування рамних конструкцій відбувалося в ригелі (21рама), стояку (12 рам) поблизу карнизного вузла, в ригелі в зоні позитивного моменту (брам), в карнизному вузлі (Зрами) з досягненням або текучості сталі в розтягнутій арматурі в нормальному перерізі до початку роздроблення стиснутої зони, або роздроблення бетону стиснутої зони в нормальному перерізі до початку текучості сталі, або розрив поздовжньої розтягнутої арматури (рис.3,4).

Випробування рам за **міцністю** показало, що 34 рами відповідають ДСТУ: - за текучістю арматури ( $c > 1,25$ ) - 26 рам; - за

роздробленням бетону стиснутої зони ( $c > 1,6$ ) - 8 рам. Рами (8 шт.) не відповідають вимогам норм за різних чинників: передчасного руйнування карнизного вузла внаслідок зниженої міцності бетону; сколювання бетону в зоні гребеневого вузла та інш.

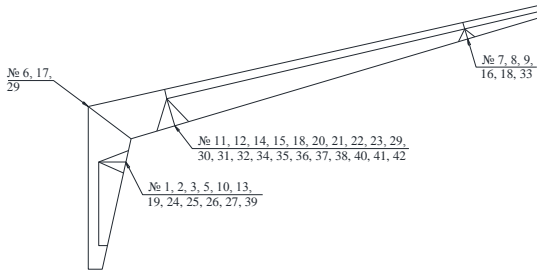


Рис.3. Узагальнена схема місць руйнування 42-х піврам



Рис.4. Тавровий стояк піврами після випробувань

Випробування рам за **жорсткістю (деформаціями)** показало, що 38 рам відповідають СНиП, відносні прогини гребеневого шарніра менше  $1/300$  прольоту рам. Рами (2 шт.) не в повній мірі відповідають вимогам норм, тому що відносні прогини складають  $1/150; 1/178 > 1/300$  прольоту рам.

Випробування рам за **тріщиностійкістю** показало, що 20 рам відповідають ДСТУ, ширина розкриття яких менше нормованих  $0,15\text{мм}$ . Рами (11 шт.) умовно відповідають вимогам норм. В відповідності до норм допускається перевищення контрольної ширини розкриття тріщин  $0,15\text{мм}$  на  $50\%$ , тобто до  $0,225\text{мм}$ . Тому тріщиностійкість цих рам на рівні розтягнутої арматури та у вуті можна вважати задовільною. Рами (13 шт.) не відповідають вимогам норм в карнизному вузлі (вуті), ширина розкриття яких складає від  $0,3$  до  $0,5\text{мм}$ . Запропоновані рекомендації з покращення конструкцій піврам і технології виготовлення: встановлення додаткових поздовжніх стержнів по висоті перерізу ригеля і стояка рами, зменшення кроку поперечної арматури, встановлення поперечних сіток і стержнів в карнизному вузлі, що призвели до зменшення ширини розкриття тріщин до нормованих величин.

Таким чином, 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.

Усього було отримано результати випробувань 42 рам, в тому числі 18 суцільних і 24 складених. В суцільних піврамах вузол спряження ригеля зі стояком (карнизний вузол) армується достатньо і доцільність розрахункового апарату визначається результатами випробування в основному суцільних піврам. 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, а в РЖУ – ближче до ригеля. В розтягнутій зоні ригель і стояк об'єднуються за допомогою зварювання випусків робочої арматури стояка в РЖС і ригеля в РЖУ до закладних деталей відповідно ригеля або стояка. 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. При цьому слід зазначити, що значення ширини розкриття тріщин в карнизних вузлах складених піврам було дещо меншим, ніж і суцільних піврамах у зв'язку з наявністю однієї великої штучної тріщини в сухому стику карнизного вузла складеної піврами.

Випробування 6 піврам (для рам прольотом 9,12,18 і 21м) з висотою стояків 3,6; 4,2; 5,1м показали, що втрата їх несучої здатності відбувалась внаслідок досягнення текучості сталі розтягнутої арматури саме в сухому стику спряження ригеля зі стояком. Звідси, характеристики міцності арматурної сталі визначають несучу здатність складених піврам.

Аналіз впливу жорсткості карнизного вузла виконується зіставленням випробування суцільних і складених піврам. Переміщення гребеневого шарніру суцільних і складених піврам при нормативному навантаженні майже однакові. Отже, наявність сухого стику в вузлі спряження ригеля зі стояком не має суттєвого впливу на деформативність рам.

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

Проведено **аналіз порівняння результатів** теоретичних досліджень на ПК ЛПА з даними експерименту. У КНУБА проведено спеціальні досліди з уточнення напружено-деформованого стану з'єднання ригеля зі стояком. Отримані експериментальні графіки напруження в арматурі сухого стику зі збільшенням навантаження, яке зіставлялось з теоретичним, обчисленим з рівняння моментів зовнішніх і внутрішніх сил відносно центра закладної деталі ригеля, розташованого в стиснутій зоні. Дослідні і розрахункові значення напруження в арматурі близькі між собою, що підтверджує правильність розрахункових положень.

Порівняння результатів руйнуючих зусиль у тришарнірних залізобетонних рамах з високими стояками 5,1 і 5,7м, розрахованих за деформованою і недеформованою схемами, виявив, 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. Зі збільшенням висоти стояка до 5,1-5,7м зростає деформативність рам, що дає суттєвий вплив на величину і розподілення зусиль в елементах рами.

Утворення штучного ексцентрициту, тобто зміщення шарнірного з'єднання від центру гребеневого вузла униз на відстань ексцентрициту  $e=20-40$ мм, дає зменшення величини згинаючого моменту в ригелях рами до 26-27% порівняно з конструкцією центрально стиснутого гребеневого вузла рами. Наявність ексцентрициту дозволяє мінімізувати виникаючі згинальні моменти у ригелях і стояках рам та зменшити зусилля від дії експлуатаційних навантажень, які виникають у вузлах стику ригеля зі стояком.

Отримані результати розрахунку 42 рам на ПК ЛПА та співставлення їх з експериментальними даними показують, що розбіжності між експериментальними та розрахунковими даними за міцністю та деформаціями знаходяться у межах 10%.

В результаті розрахунку просторового каркасу будівлі з тришарнірних залізобетонних рам на ПК ЛПА отримали макс. і мін. моменти  $M$ , нормальні сили  $N$  і поперечні сили  $Q$ , а також ізополі

напружень по осям X, Y, Z при різних комбінаціях навантажень (рис.5,6,7). Норми рекомендують виконувати статичний розрахунок рам, які утворюють цю систему, за деформованою схемою з урахуванням непружних властивостей залізобетону.

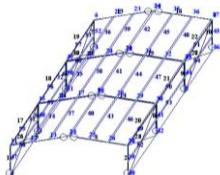


Рис.5. Просторова розрахункова модель будинку. Каркас з рам і плит

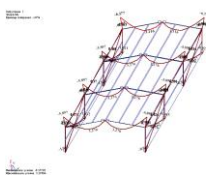


Рис.6. Результати розрахунку: Епюра  $M_x$ . Навантаження  $1.M_x \text{ мін}=6,38 \text{ кНм}$ ,  $M_x \text{ макс}=3.28 \text{ кНм}$

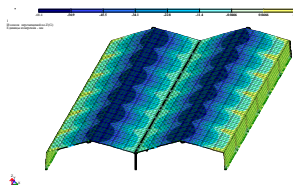


Рис.7. Переміщення рамного каркасу відповідно до осі Z

**Висновки: 1.** Результати проведених експериментально-теоретичних досліджень свідчать, що тришарнірні залізобетонні рами РЖ і РЖС та інших типів відповідають нормативним вимогам за міцністю, жорсткістю й тріщиностійкістю. Зіставлення результатів розрахунку й досліду показало задовільну їхню збіжність. Оцінена достовірність методики розрахунку й принципів конструювання, а також відповідність якості виготовлених піврам вимогам проекту й діючих норм. Запропоновано рекомендації з поліпшення конструкцій піврам і технології їх виготовлення. Все це дає можливість рекомендувати тришарнірні залізобетонні рами РЖ і РЖС до впровадження в будівництво в Україні.

**2.** Експериментальне дослідження рам РЖ і РЖС показало надійність армування вузла сполучення ригеля зі стояком з використанням гнучої закладної деталі. Випробування рам показує, що карнизний вузол у складених піврамах за допомогою сухого зварного стику не впливає на деформованість рам. Зі збільшенням висоти стояка до 5,1-5,7м зростає деформованість рам, що впливає на величину і розподіл зусиль в елементах рами.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Першаков В.М. Експериментальні дослідження тришарнірних залізобетонних рам. –К.: Будівництво України. -2011.-№1. -С.17-22.
2. Першаков В.М. Каркасні будинки з тришарнірних залізобетонних рам: Монографія / В. М. Першаков – К.: Кн. вид-во НАУ.-2007. -301с.

**Відомості про автора**

Першаков Валерій Миколайович (1943), закінчив Казахський політехнічний інститут (1966). Доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів Інституту аеропортів Національного авіаційного університету, член-кореспондент Академії будівництва України. Напрямок наукової діяльності – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Тел.сл.+38(044)406-72-89, дом. 270-09-51, м. 068-352-19-43

E-mail:pershakov@nau.edu.ua