

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИШАРНІРНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РАМ

В.М. Першаков, к.т.н.

Київ

Протягом останніх десятиліть широкого розповсюдження набули одноповерхові залізобетонні рамні каркаси прогоном 12, 18, 21 м для виробничих, цивільних та сільськогосподарських будівель.

За результатами проведених експериментально-теоретичних досліджень 42-х тришарнірних залізобетонних рам визначена їх фактична несуча здатність, жорсткість і тріщиностійкість, а також відповідність якості виготовлення піврам вимогам проекту і чинним нормативним документам.

На кафедрі реконструкції аеропортів та автошляхів Інституту аеропортів Національного авіаційного університету було узагальнено та проаналізовано натурні випробування ефективних конструкцій залізобетонних рамних каркасів.

Методика і техніка досліджень. Рамні конструкції випробовують різними методами:

- за допомогою важільної системи з навантаженнями штучними вантажами (рис. 1, 2);

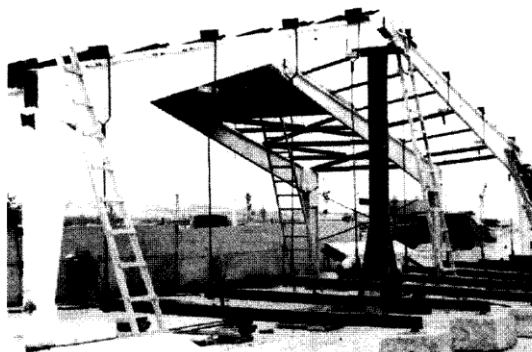


Рис. 2. Початковий етап випробування рами РЖС-21.

- за допомогою підвішених до ригеля рами баків з водою (рис. 3) та інших вантажів;
- стягуванням піврам по лінії, що з'єднує п'ять стояка з нульовою моментною точкою ригеля або з гребневим шарніром;
- за допомогою блоків, що укладаються на збірні залізобетонні перекриття.

У польових умовах найбільш доцільним є завантаження рами за допомогою важільної системи.

За участю автора розроблені конструкції стендів для дослідження рамних каркасів, на яких проводили випробування суцільних і складених піврам РЖ та РЖС.

Перед початком випробування визначали межу міцності бетону в піврамах за результатами випробування контрольних кубів і неруйнівним методом, а також межу текучості сталі за результатами механічних випробувань арматурних стрижнів.

Ригелі залізобетонних рам розкріплювали на рівні покриття металевими розпірками з кутиків через 1,5, 3 м. П'ять залізобетонних піврам встановлювали в металеві башмаки, розташовані на бетонній підлозі, з'єднували між собою стяглюю з двох арматурних стрижнів.

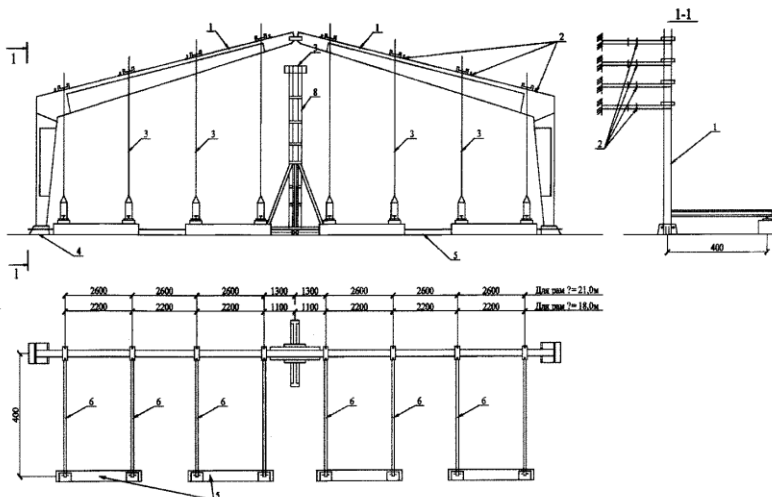


Рис.1. Схема стенду для дослідження рамних каркасів:

1 – рамний каркас; 2 – зв'язки з кутиків; 3 – підвіски Ф25; 4 – опорний башмак; 5 – стягла; 6 – опорні балки № 24; 7 – опорні бетонні блоки; 8 – монтажна вишка із домкратом.

ДОСЛІДЖЕННЯ

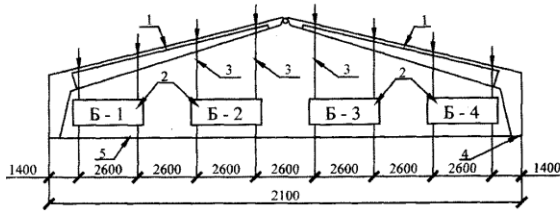


Рис. 3. Схема стенда для досліджень рамних каркасів:
1 – рамний каркас; 2 – ємність (баки) для води; 3 – підвіски Ф25АІІІ;
4 – опорний башмак; 5 – металева стягла.

Ригелі рам завантажували восьмома зосередженими силами за схемами, наведеними в альбомах робочих креслень рам РЖ і РЖС, по чотири на кожному півпрогоні. Важільна система із навантаженням складалася зі сталевих тяг. До тяг одним кінцем підвішували металеві балки, а другий кінець укладали на металеві опори, розташовані на підставках із бетонних фундаментних блоків (див. рис. 1, 2). Як вантажі використовували попередньо зважені залізобетонні перемички або фундаментні блоки.

Для огляду ригеля рами і верхніх ділянок стояків під час випробування, а також зняття показань приладів, що знаходяться на ригелі, вздовж випробуваної рами були встановлені підмостки, не зв'язані з нею.

Відповідно до ДСТУ Б В 2.6-7-95¹ конструкцію для випробування завантажували ступенями, що не перевищує 20 % нормативного навантаження, рамний каркас – ступенями навантаження з витримуванням на кожному ступені, необхідним для зняття показань приладів. При нормативному навантаженні витримування складає – 1-2 години.

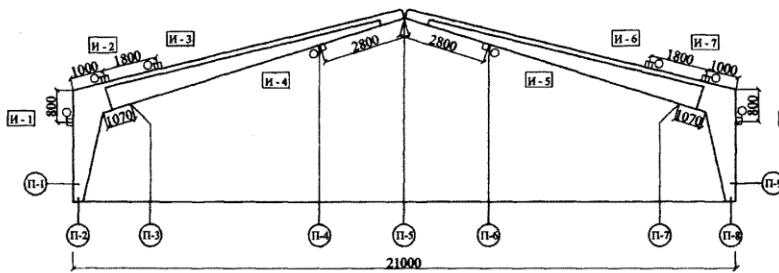


Рис. 4. Схема розміщення приладів (И-індикатор, П-прогиномір).

Рис. 5. Тавровий стояк піврами після випробувань.



Основними є ступені навантаження, які відповідають:

- величині власної ваги ригеля 150 кгс/м; імітують власну вагу покриття;
- нормативному навантаженню на одному півпрогоні рами;
- нормативному навантаженню на всьому прогоні рами;
- розрахунковому навантаженню на раму;
- величині руйнуючого навантаження на раму.

У процесі випробування були визначені: прогини в гребеновому шарнірі та в перерізах ригеля на відстані 2,8 м від шарніра; осідання і горизонтальне переміщення п'ят стояків рами; деформація робочої арматури в характерних перерізах; ширина розкриття тріщин (рис. 4).

Для вимірювання прогинів і осідання опор були використані прогиноміри системи Аістова з ціною поділки 0,01 мм. Деформації арматури вимірювали індикаторами часового типу з ціною поділки 0,01 мм, ширину розкриття тріщин у процесі випробування рами – за допомогою мікроскопа МПБ-2 з 24-кратним збільшенням і ціною поділки 0,05 мм.

Після руйнування зразків їх фотографували, замірювали фактичні розміри поперечних перерізів і величину захисного шару бетону, вирізували зразки арматури для визначення її дійсних механічних характеристик (рис. 5).

¹ Конструкції будинків і споруд. Вироби будівельні бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробувань навантаженням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості.

З метою скорочення термінів проведення випробувань і зменшення необхідної для цього кількості піврам проводили випробування піврам до 21 м на Жулянському заводі ЗБК облміжколгоспбуду (м. Вишневе) на спеціально спроектованому для цього стенді (рис. 6). Стенд розроблений трестом "Оргтехбуд" Укрміжколгоспбуду і призначений для випробування залізобетонних піврам.

Випробування 42-х рам проводили у лабораторіях заводів залізобетонних конструкцій та виробів, а саме: ЗБВ облміжколгоспбуду у м. Вінниця, Крим-облміжколгоспбуду в м. Бахчисарай та ЗБВ тресту "Кримсільбуд" у м. Сімферополь, Баловський пром-бази облміжколгоспбуду у м. Дніпропетровськ, НДБК у м. Києві, донецькому заводі "Сільбудком-плект" облміжколгоспбуду, Черкаському ЗБВ, а також у польових умовах одеського облміжколгоспбуду, миколаївського тресту "Миколаївсільбуд", сумського облміжколгоспбуду, лабораторії ЗБК "ЦНИИЭПсельстрой" (Росія), ЗБК облміжколгоспбуду в м. Вишневе та Жулянського ЗБВ ОНІЛ КІБІ.

Експериментальне дослідження рамних каркасів. При випробуванні 42-х тришарнірних залізобетонних рам реалізували різні схеми завантаження: по чотири зусилля на півпрогоні рами (див. рис. 1) – 20 рам; по вісім зусилля на півпрогоні рами – 8 рам; по п'ять зусилля на півраму (див. рис. 6) – 12 рам, по два зусилля (стягування) – 2 рами.

Рівномірно розподілене навантаження було замінено чотирма (вісьмома) зосередженими силами, величина яких приймалась з умови рівності згинальних моментів M , поздовжніх сил N , поперечних сил Q у розрахункових перерізах.

Передачу зовнішнього навантаження у вигляді зосереджених сил здійснювали в місцях опирання плит покриття. При симетричному навантаженні розрахункові значення досягають зусиль у зоні карнизного вузла, при несиметричному – поблизу гребеневого вузла в зоні позитивного моменту.

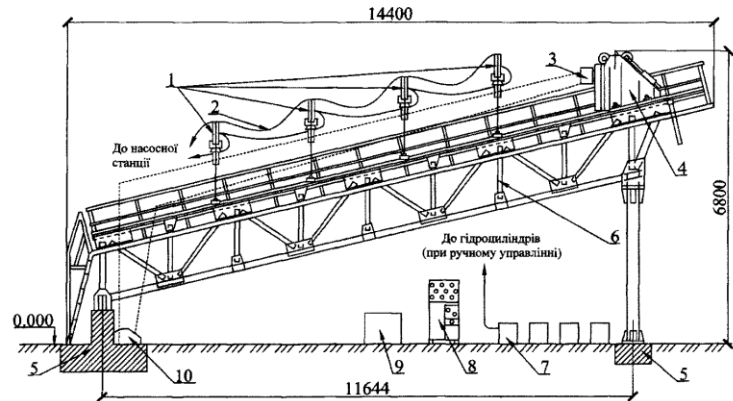


Рис. 6. Стенд для досліджень рамних конструкцій:

1 – гідравлічні силозбудники; 2 – гідророзводка; 3 – візок; 4 – контрфорс; 5 – фундамент; 6 – просторова ферма з майданчиками обслуговування; 7 – насосна станція (ручний привід); 8 – пульт управління; 9 – насосна станція; 10 – башмак.

Для наближення зусиль у конструкції піврам до експлуатаційних значень (нормативні, розрахункові) при натурному випробуванні реалізували оригінальні епюри зовнішніх зусиль у найбільш небезпечних перерізах піврам.

Руйнування 42-х рамних конструкцій відбувалося в ригелі (12 рам), або стояку (21 рама) поблизу карнизного вузла, або в ригелі в зоні позитивного моменту (6 рам), або в карнизному вузлі (3 рами) 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 розриву поздовжньої розтягнутої арматури (рис. 7). Різні схеми завантаження рам не впливають на результати їх випробування.

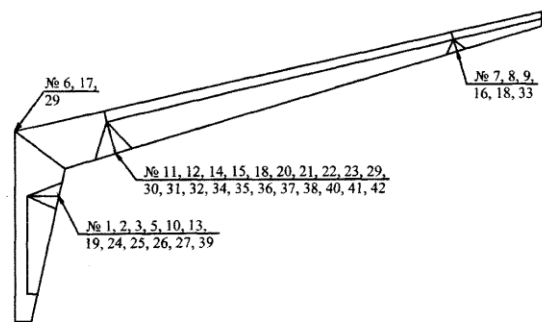


Рис. 7. Узагальнена схема місць руйнування 42-х піврам.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз результатів досліджень рам (рис. 8). Аналіз 42-х випробуваних рам за міцністю показав, що 34 рами відповідають ДСТУ¹ – за текучістю арматури ($s > 1,25$) – 26 рам; – за роздробленням бетону стиснутої зони ($s > 1,6$) – 8 рам. Рами № 6, 7, 8, 35, 36, 38, 41, 42 (8 рам) не відповідають вимогам норм через те що:

- при випробуванні рами № 6 ($s = 17,5/15,7 = 1,12 < 1,6$) відбувається руйнування карнизного вузла у місці розкриття тріщини, бетон під гнutoю закладною деталлю, що з'єднує три стрижні Ø22 А-III, зминається, тріщина стає наскрізною. Руйнування відбувається внаслідок роздроблення стиснутого бетону в карнизному вузлі під гнutoю закладною деталлю². Міцність бетону складає 15,7 МПа проти 30 МПа за проектом, що є причиною передчасного руйнування карнизного вузла;
- при випробуванні рами № 7 почалося сколювання бетону в зоні гребеневого вузла в верхній частині за похилою тріщиною лівої піврами ($s = 17,4/13,2 = 1,31 < 1,6$);
- при випробуванні рами № 8 ($s = 1,26 < 1,6$) відбулося руйнування лівої піврами поблизу гребеневого вузла за похилим перерізом, що співпадає з похилими тріщинами. Одночасно відбувається руйнування правої піврами. Тріщина руйнування перетнула три хомути, один із яких був відірваний від поздовжньої арматури

відають СНиП³, відносні прогини гребеневого шарніра менше 1/300 прогону рам. Рами № 39, 41 (2 рами) не в повній мірі відповідають вимогам норм, тому що відносні прогини складають 1/150; 1/178 > 1/300 прогону рам.

Аналіз 38-ми випробуваних рам за тріщностійкістю свідчить, що 20 рам відповідають ДСТУ¹, ширина розкриття яких менше нормованих 0,15 мм. Рами № 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 18, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 30, 36, 37, 38 (18 рам) не відповідають вимогам норм. Із 18-ти рам 16 не відповідають вимогам норм у карнизному вузлі (вугі), ширина розкриття яких складає від 0,2 до 0,5 мм, 7 рам відповідають вимогам норм щодо ширини розкриття тріщин (0,10-0,15 мм) на рівні розтягнутої арматури і 11 рам не відповідають цим вимогам (0,17-0,22 мм) на рівні розтягнутої арматури.

Маємо розкид даних за шириною розкриття тріщин, яке в карнизних вузлах зменшили за допомогою конструктивних заходів (установлення додаткових сіток, стрижнів тощо).

Усього було проаналізовано результати випробувань 42-х рам, у т.ч. 18 суцільних і 24 складених. У суцільних піврамах вузол спряження ригеля зі стояком (карнизний вузол) армується достатньо, і доцільність розрахункового апарата визначається результатами випробування в основному суцільних піврам. Тому важливим є дослід-

<p>в кар- У – до додну- через зварю- РЖС і овідно вузлі диною, уються можею роботи зми з і</p>	<p>руйнування піврам № 35, 36, 38 відбувається за нормальним перерізом внаслідок роздроблення бетону стиснутої зони у місці переходу між моментного перерізу ригеля в тавовий (у вугі). Руйнування має крихкий характер зі втратою стійкості поздовжньої стиснутої арматури з стінці ригеля. При цьому текучість арматури не спостерігалася. Коefіцієнт запасу міцності в піврамах № 35, 36, 38 – відповідно 1,4; 1,45; 1,55 < 1,6;</p> <ul style="list-style-type: none"> • руйнування піврам № 41, 42 відбувається внаслідок розриву робочої арматури ригеля в стикі ригеля зі стояком ($s = 1,4; 1,5 < 1,6$). КіВ було запроектовано під впливом конструкції піврам. <p>Аналіз 40-ка випробуваних рам за жорсткістю (деформативністю) показав, що 38 рам відпо-</p>	<p>денних рам на їх деформативність.</p> <p>Складені рами типу РЖС розрізували низькому вузлі ближче до стояка, а в РЖС ригеля. В стиснутій зоні ригеля і стояка здійснюється зварюванням закладних деталей центрової прокладку, в розтягнутій зоні – зварюванням випусків робочої арматури стояка в ригеля в РЖУ до закладних деталей від ригеля або стояка. Звідси в карнизному утворився сухий стик із штучною тріщизусилля в якому в розтягнутій зоні сприймає робочою арматурою, а в стиснутій – за допомогою закладних деталей ригеля і стояка. Бетон у самого напруженого вузла спряження ригеля зі стояком рами не бере участі.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7-801 с.
с. Бред

² Шершаків В.М. Карнизні вузли в тріщностійких і безтріщних рамах. Монографія. – Ю. Книжковий видавничий НАУ, 2007.
³ СНиП 2.03.01-84. Бетонні і залізобетонні конструкції. Норми проектування. – М.: Стройиздат, 1985. – 88 с. 01.01.1986.

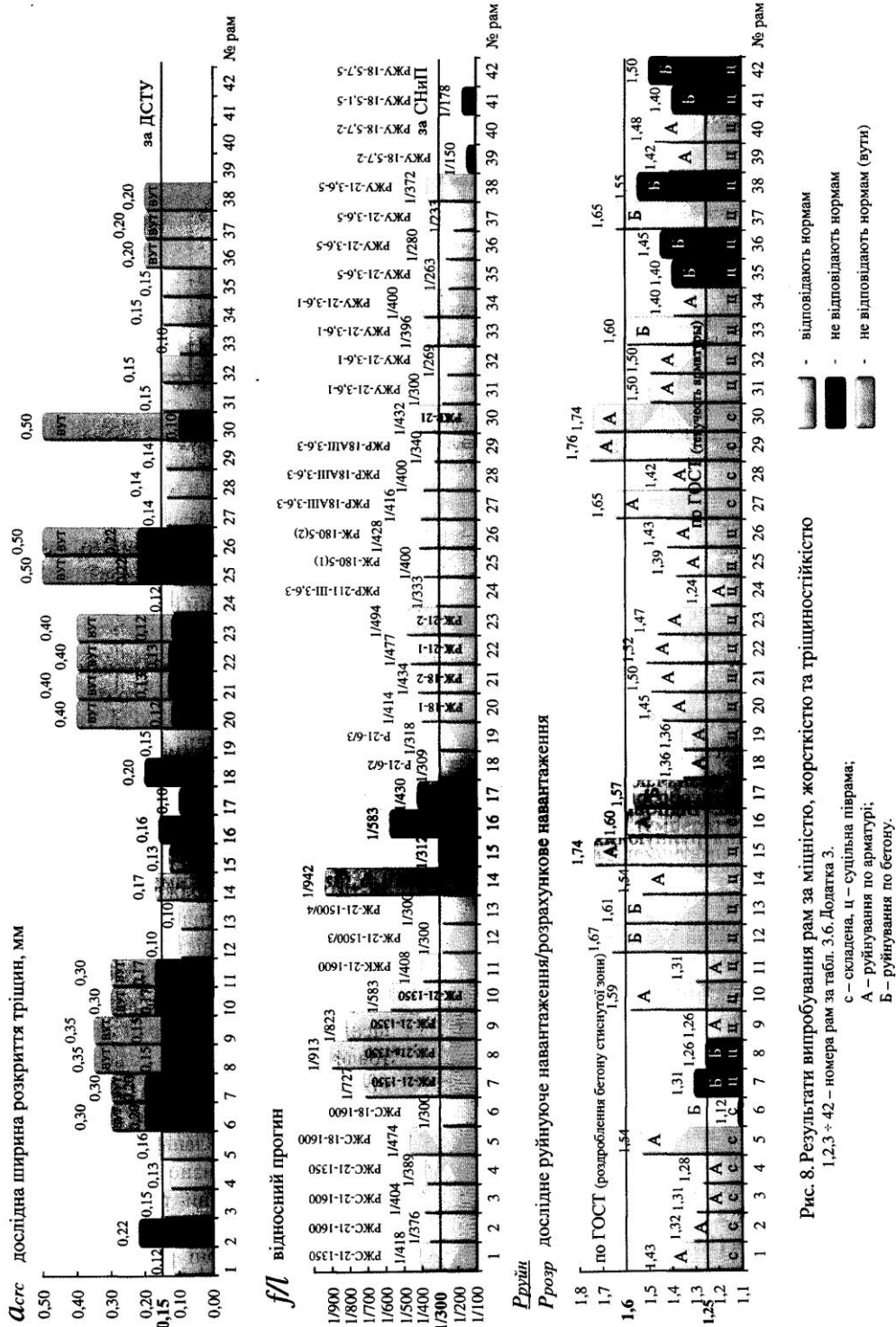


Рис. 8. Результати випробування рам за міністю, жорсткістю та тріщинистістю 1,2,3 × 42 – номера рам за табл. 3.6, Додатка 3.
с – складена, ц – суцільна піраме;
А – руйнування по арматурі;
Б – руйнування по бетону.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати випробування складених і суцільних піврам засвідчили, що розрізання у вузлі спряження ригеля зі стояком не має суттєвого впливу на міцність, жорсткість (деформативність) і тріщиностійкість піврам (рис. 9). Слід зазначити, що значення ширини розкриття тріщин у карнизних вузлах складених піврам було дещо меншим, ніж у суцільних піврамах через наявність однієї великої штучної тріщини у сухому стикі карнизного вузла складеної піврами.

Випробування 6-ти піврам (для рам прогоном 9, 12, 18 і 21 м) з висотою стояків 3,6; 4,2; 5,1 м показали, що втрата їх несучої здатності відбувалася внаслідок досягнення текучості сталі розтягнутої арматури саме в сухому стикі спряження ригеля зі стояком.

Випробування 6-ти піврам (для рам прогоном 9, 12, 18 і 21 м) з висотою стояків 3,6; 4,2; 5,1 м показали, що втрата їх несучої здатності відбувалася внаслідок досягнення текучості сталі розтягнутої арматури саме в сухому стикі спряження ригеля зі стояком.

Звідси, характеристики міцності арматурної сталі визначають несучу здатність складених піврам. Відповідно до ДСТУ¹ коефіцієнт перевищення руйнуючих зусиль над розрахунковими при характері руйнування піврам внаслідок текучості сталі розтягнутої арматури повинен бути більшим 1,25.

Аналіз впливу жорсткості карнизного вузла виконується зіставленням випробування суцільних і складених піврам. Випробування показали², що переміщення гребеневого шарніра суцільних і складених піврам при нормативному навантаженні майже однакові. Отже, наявність сухого стиків у вузлі спряження ригеля зі стояком не має суттєвого впливу на деформативність рам.

Розкріплення ригеля рами виконували кутниками на зварюванні по довжині через 1,5 м у 14-ти рамах, через 1,8 м (1,92 м) у 2-х рамах, через 3,0 м в 11-ти рамах, усього в 27-ми рамах. Втрати місцевої або загальної стійкості елементів рами не спостерігалося. В 12-ти піврамах розкріплення

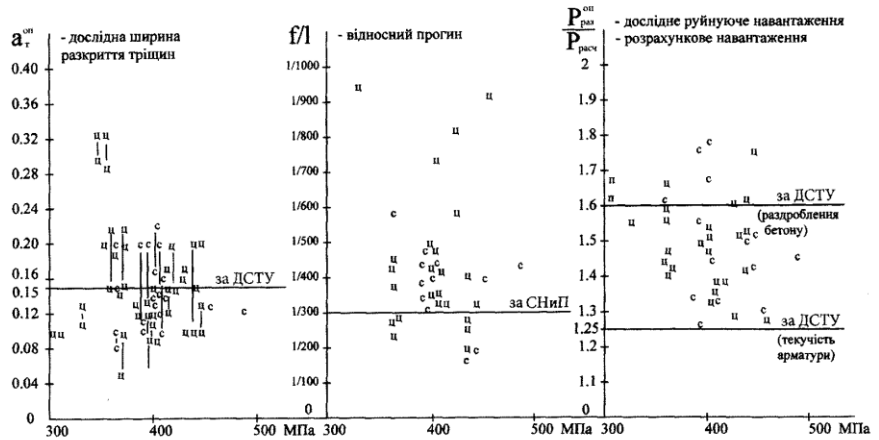


Рис. 9. Результати досліджень рам із суцільних та складених піврам щодо міцності, жорсткості і тріщиностійкості в залежності від напруження в арматурі (ц – суцільна піврама; с – складена піврама).

ригелів через 3,0 м забезпечувалося жорсткістю конструкцій домкратів (див. рис. 6), що призвело до часткової втрати опору ригелів піврам бічному випучуванню з площини навантаження.

Висновки.

1. Розроблена ефективна методика та стенди випробування натурних тришарнірних залізобетонних рам прогоном 21, 18, 12 м.
2. Результати експериментальних досліджень

Від-
ви-
ком
ком
то-
гня,
ння
гам.
фра-
го-
вж-
я і
ної
ж і
или
до
ген-
до

42-х тришарнірних залізобетонних рам і повідають нормативним за міцністю (за нятком 8-ми рам), жорсткістю (за виняті 2-х рам) і тріщиностійкістю (за виняті 18-ти рам). Підтверджена доцільність ме дики розрахунку і принципів конструюван а також відповідність якості виготовле піврам вимогам проекту і чинним норм Запропоновані рекомендації щодо по щення конструкцій піврам і технології ви товлення: встановлення додаткових поздо ній стрижнів по висоті перерізу ригел стояка рами, зменшення кроку попере ч арматури, встановлення поперечних сіт стрижнів у карнизному вузлі забезпеч зменшення ширини розкриття тріщин нормованих величин, що дозволяє реком дувати тришарнірні залізобетонні рами впровадження.