

ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ З НЕСУЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ

Приведено досвід використання ефективних тришарнірних залізобетонних рам прольотом 18 і 21м в сільськогосподарському будівництві України, Росії, Молдавії, Казахстану, а також зарубіжжя, дана оцінка ефективності їх використання. Викладені особливості методів розрахунку та конструювання тришарнірних залізобетонних рам.

Ключеві слова: ефективні конструкції, залізобетонні рами, каркаси, стояки, ригелі, малоенергоємні будівлі, міцність, стійкість, жорсткість, тріщиностійкість, тавровий змінний переріз.

Актуальність роботи полягає у вирішенні важливої народно-господарської проблеми проектування, реконструкції та будівництва каркасних будинків із залізобетонних рам змінного перерізу у напрямку зниження енергетичних витрат на експлуатацію і витрат матеріалів за рахунок створення економічних каркасів маломатеріаломістких будівель, в розробці ефективних рішень і методів розрахунку каркасних будівель з тришарнірних залізобетонних рам для будівництва сільськогосподарських промислових будинків, зальних приміщень сільських громадських будівель і споруд аеродромів ділової авіації.

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.

Результати досліджень реалізовано в нормативних документах, в ТУ, в методичних рекомендаціях, каталогах в системі к. Укрміжколгоспбуду, Мінсільбуду, МЦА СРСР, а також опублікованих в 3 монографіях, в 17 а. с. на нові конструкції рам, покриття, фундаментів, в 78 статтях, матеріали яких отримали упровадження в практику проектування інститутів Укрколгоспроект, УкрНДІДіпросільгосп, УкрНДІпроцивільсьсьбуд, Аэропроект та ін.

У відповідності до плану упровадження нової техніки к. Укрміжколгоспбуду, Мінсільбуду України **побудована 9,85 млн. м² промислових будівель в рамних конструкціях**. Використання результатів досліджень дало можливість отримати наступний **фактичний економічний ефект.: економія металу -13,6 тис. т.; економія цементу -66,2 тис. т.; скорочення трудовитрат -148,1 тис. люд.-днів; від використання результатів роботи у проектуванні - 0,412 млн. грн., у будівництві - 2,910 млн. грн., в 5 нормативних документах.**

Проведено огляд та аналіз досягнень напрямкам розвитку теоретичних

методик розрахунку та конструюванню будівель із залізобетонним рамним каркасом. Визначені основні тенденції у використанні залізобетонних каркасів будівель різного призначення, проаналізовано основні підходи щодо їх ефективного проектування, виготовлення та використання.

Аналіз розглянутих конструктивних рішень показав, що рамні залізобетонні конструкції у нашій країні і за кордоном широко застосовують при будівництві промислових, виробничих та громадських споруд. Усього було проаналізовано 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 та іншими показниками, що не відповідає вимогам єдиної модульної системи та уніфікації габаритних схем сільськогосподарських споруд.

Найбільш економічними за витратами бетону та сталі порівняно з конструкціями стояково-балкової системи є залізобетонні тришарнірні рами таврового перерізу прольотом 18 та 21м. Таврова форма поперечного перерізу ригелів і стояків є найбільш економічною за матеріаломісткістю у порівнянні з прямокутним перерізом.

Наведено теоретичне обґрунтування основних принципів проектування **малоенергомиських будівель із ефективними залізобетонними рамними каркасами.**

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, їх можна заздалегідь виготовляти з двох однакових частин і монтувати простим з'єднанням в шарнірах. При шарнірному з'єднанні можлива незалежна типізація ригелів та стояків. Проведений вибір і обґрунтування об'ємно-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.

Досліджено вплив кута нахилу ригеля рами на витрати сталі і бетону з урахуванням огорожувальних конструкцій. Встановлено, що на витрати матеріалів конструкцій каркаса впливають дві протилежні тенденції. З одного боку збільшення кута нахилу зменшує розрахунковий згинальний момент в карнизному вузлі і збільшує розрахункову довжину стояка рами, а з іншого боку із зростанням кута нахилу збільшується довжина ригеля та площа покриття.

Прийняті величини прольотів каркасів будівель: 12, 18 і 21м підтверджується досвідом масового проектування і будівництва каркасних будівель

для сільського господарства. Нахил ригеля піврам прийнятий 0,25 або 1:4, що передбачає просте в улаштуванні і надійне в експлуатації вентилязоване покриття з використанням азбестоцементних листів.

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

Рами розраховували на всі види навантаження: постійне, тимчасове, тривале, короткочасне снігове, вітрове. Розрахункова довжина ригеля і стояка рам визначається з урахуванням опорних і гребневих шарнірів, змінною висотою перерізу по довжині елементів рами, наявності сухого стику спряження ригеля зі стояком тощо. До впливу прогину позацентрово стиснутих елементів ураховано ексцентриситет із коефіцієнтом η відповідно до деформованої схеми конструкції.

З метою вибору ефективного варіанту перерізу конструкції рами (рис.1) проведено порівняльний аналіз епюр моментів 3 варіантів перерізів рам. Порівняння максимальних значень моментів, поперечних і поздовжніх сил у тавровому перерізі рами свідчить, що відповідно по M_y на 25.7%, по Q_z на 24.3%, по N на 38.97% менші максимальних зусиль для прямокутного перерізу. Таким чином, найбільш ефективним варіантом є тавровий переріз, усі величини зусиль якого значно відрізняються від максимально отриманих.

Зроблена оцінка впливу осідання фундаментів стояків на напружено деформований стан двопрольотної рами (рис.2). Встановлено, що осідання фундаментів стояків двопрольотної рами на 10мм впливає на напружено-деформований стан M_y, N, Q_z у межах 3%.

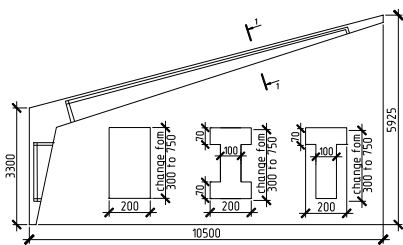


Рис.1. Залізобетонна піврама з різними типами перерізів

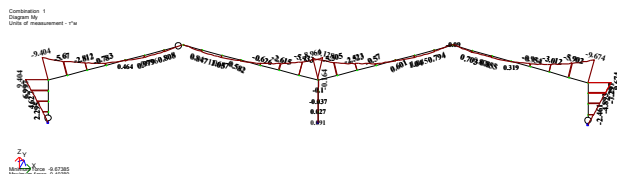


Рис.2. Епюра згинальних моментів M_y

Для дослідження впливу розміщення по висоті стягтя на напружено-деформований стан рами використовували залізобетонну раму з прольотом 21м та змінним по висоті тавровим перерізом. За напружено-деформованим станом проаналізовані зусилля в тришарнірної та одношарнірної рамах.

Розглянуто п'ять варіантів: рама без стягля та чотири варіанти встановлення стягля по висоті, а саме на відмітках +0.000, +1.650, +3.300, та 4.150 (рис.3).

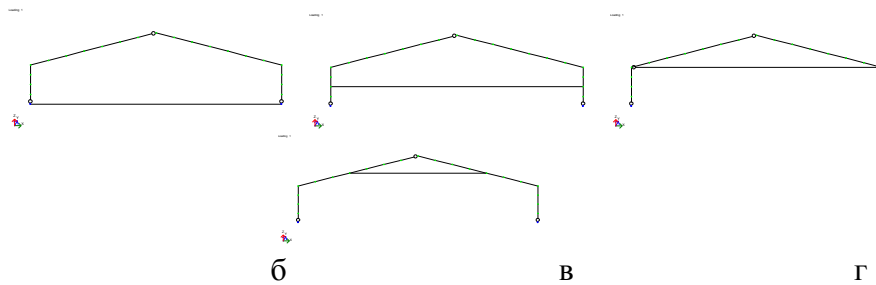


Рис.3. Розташування стяглів по висоті рами: а - – стягля на рівні +0.000; б - стягля на рівні +1.650; в - стягля на рівні +3.300; г - стягля на рівні +4.150

Найменші поздовжня сила N , момент M , та поперечна сила Q_z виникає, коли стягель на рівні +3.300 з трьома шарнірами, що відповідно на 44.5%, на 46.5%, на 41.5% менше ніж максимально отриманих. Отже стягель на рівні +3.300 в рамах з трьома шарнірами найменше впливає на напружено-деформований стан рами.

Встановлено, що при випробуванні рам з висотою стояків 5,1 і 5,7м характер їх роботи має особливості, які пов'язані з їх підвищеною деформативністю. При розрахунковому навантаженні для прольотів півригеля 10,5 і 9м вертикальні переміщення гребеневого вузла становлять 260-320мм, а переміщення стояка по горизонталі в гребеновому вузлі – 60-90мм. В результаті значних переміщень змінюється розрахункова схема рами і збільшуються діючі зусилля (M, N, Q), особливо згинаючий 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. Розрахунок таких рам потрібно проводити за деформованою схемою з урахуванням геометричної нелінійності елемента та фізичної нелінійності роботи бетону.

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. Міцність вузла характеризується досягненням розрахункового опору розтягнутої арматури (рис.4). Виходячи з цього, в зоні перегину арматурних стержнів зусилля розтягу в арматурі досягають великих значень, рівнодіючу яких сприймає бетон. Бетон під арматурним стержнем працює в умовах складного напруженого стану (рис.5,а).

Розроблено та досліджено спосіб виготовлення арматурних каркасів непрямолінійних залізобетонних конструкцій піврам за а.с. №681168. Для утворення арматурних каркасів спочатку виготовляють поздовжні та

поперечні арматурні стержні, які збирають в прямолінійні секції 1 і 2, а потім з'єднують між собою за допомогою закладної деталі 3 шляхом приварювання (рис.5,б). Гнута сталеві пластина 3 передає навантаження на бетон рівномірно по всій поверхні, не викликаючи концентрації напружень, при цьому виключається необхідність встановлення конструктивної арматури, що ускладнює армування вузла (рис.5,б), та дає можливість механізувати процес виготовлення арматурних каркасів для піврам (рис.6).

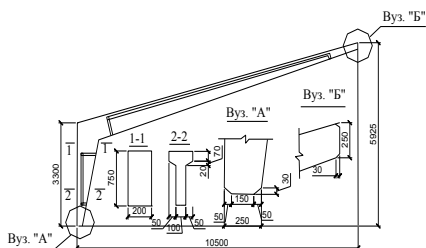


Рис.4. Суцільна піврама таврового перерізу

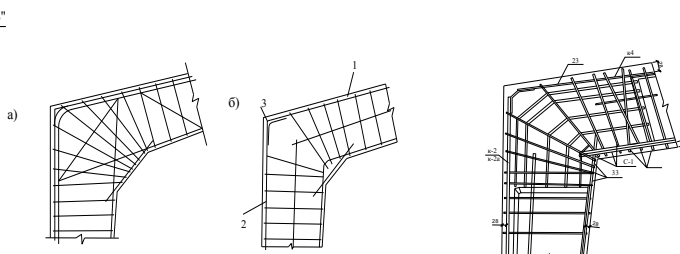


Рис.5. Армування вузла з'єднання ригеля зі стояком: а- гнутими арматурними стержнями; б- за допомогою гнутої закладної деталі; 1,2- арматурний каркас; 3- гнута закладна деталь

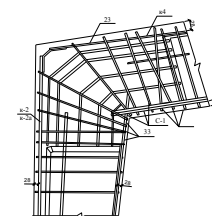


Рис. 6. Армування вузла з'єднання ригеля зі стояком в піврамах РЖ

Роздільний спосіб армування вузла спряження ригеля зі стояком в суцільних піврамах був використаний в складених піврамах. Вузол спряження ригеля зі стояком піврами розрізаний таким чином, щоб гнута закладна деталь залишалася в тілі бетону ригеля (рис.7). Верх стояка має арматурні випуски, які при збірці піврами приварюють до гнутої закладною деталі по зовнішньому контуру, що сприймали значні розтягуючі зусилля, а по внутрішньому контуру здійснювали електрозварюванням закладних деталей з центруючою прокладкою ригеля і стояка, через які передаються великі стискаючі зусилля.

Таким чином, розрізка у вузлі сполучення ригеля зі стояком, зроблена з метою спрощення технології виготовлення і транспортування складених елементів, призвела до додаткової операції з укрупнювального складання. Разом з тим в Україні застосовують обидва типи залізобетонних піврам - суцільні і складені, які мають свої переваги і недоліки. Проведено вибір і обґрунтування складеної і суцільної піврам, класу бетону, форми перерізів ригелів і стояків піврам таврового перерізу, спрощеного армування піврам.

З метою спрощення конструкцій вузла спряження ригеля зі стояком розрізка елементів рами виконана під кутом, що забезпечує зведення дотичних напружень, які виникають у місцях розрізки, до таких мінімальних значень, при яких не потрібно додаткових конструктивних заходів для їх

сприйняття (рис.7). Рішення вузла сполучення ригеля зі стояком без вута веде до подальшого спрощення ригеля і стояка (рис.8,9).

Для того, щоб уникнути руйнування вузла сполучення ригеля зі стояком, останній повинний мати розміри гнutoї закладної деталі, що задовольняють умові:

$$R_b A_q > R_s A_s \cos \alpha/2, \quad (1)$$

де: A_q - площа проекції закладної деталі на площину, що проходить через її кінці; R_b - розрахунковий опір бетону; R_s - розрахунковий опір арматури, привареної до гнutoї закладної деталі; A_s - площа поперечного перерізу всіх стержнів, приварених до гнutoї закладної деталі;

α - кут згину гнutoї закладної деталі.

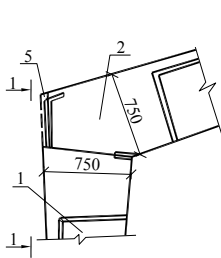


Рис.7. Конструкція з'єднання ригеля зі стояком піврами: 1-стояк; 2- ригель; 3- арматурні випуски; 4-закладна деталь; 5- цем. розчин

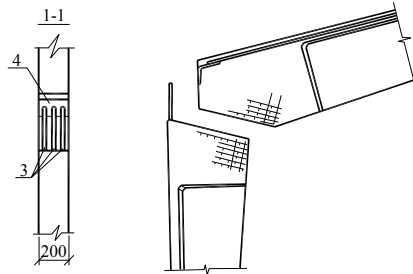


Рис.8. Схема армування елементів складеної піврами в зоні їх з'єднання з сітками підсилення

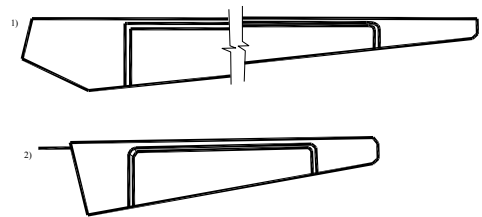


Рис.9. Елементи збірної піврами: 1- ригель; 2- стояк

Розроблені робочі креслення і номенклатура 24 марок суцільних і складених піврам РЖ і РЖС таврового перерізу для каркасних будинків шириною 18 і 21м з висотою стояків 3,3 і 3,6м під навантаження ригеля 7,5; 13,5; 16,0 кН/м. При розробці номенклатури піврам враховані результати випробувань рамних каркасів і досвід їх виготовлення.

Висновки: 1. Рамні залізобетонні конструкції в нашій країні та за кордоном широко застосовують при будівництві виробничих, громадських і сільсько-господарських будинків. Використання рамних конструкцій у каркасах будинків дозволяє застосувати передову технологію і робить будинки універсальними. Рамні конструкції створюють необхідний простір в обсягах тваринницьких приміщень, підвищують ступінь збірності й знижують масу конструкцій будинків павільйонного типу.

Найбільш економічними за витратами бетону і сталі у порівнянні з конструкціями стояково-балкової системи є залізобетонні тришарнірами рами таврового перерізу типу РЖ, РЖС прольотом 18 і 21м. Таврова форма поперечного перерізу ригелів і стояків піврам є найбільш економічною за матеріаломісткістю у порівнянні із прямокутним перерізом.

2. Аналіз статичної схеми рамного каркасу будинку дозволив зробити вибір й обґрунтування переваги варіанта тришарнірної рами у порівнянні з безшарнірною, одно і двошарнірною рамою. Найменш матеріаломісткими й найбільш ефективними конструкціями є залізобетонні рами прольотом 18 й 21м із кроком 6м і висотою стояка 3,3 й 3,6м. Обґрунтування розрахункових схем навантажень й удосконалювання методики розрахунку тришарнірних рам для каркасних будинків за міцністю, жорсткістю і тріщиностійкістю з урахуванням деформованої схеми геометричної й фізичної нелінійності варто проводити за програмою ПК ЛПА.

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.

Розроблено новий спосіб виготовлення арматурного каркасу рам за а.с. №1813860A1; нового обладнання для монтажу рамних каркасів будівель за а.с. №1738979A1; нове конструктивне рішення рами залізобетонного каркаса будівлі за а.с. №1028811A1 і №815182A1; нове стикове з'єднання стояка з ригелем (карнизний вузол) за а.с. №1661318A1 і №781287A1; нове стикове з'єднання ригелей (гребеневий вузол) за а.с. №1707153A1 і №1726682A1. Показано, що на вибір розрахункового перерізу рами та на розрахункове значення згинального моменту впливають конструктивні рішення і розміри карнизного та гребеневого вузлів. Розроблено робочі креслення й номенклатура 24 марок суцільних і складених піврам РЖ і РЖС таврового перерізу для каркасних будинків шириною 18 й 21м з висотою стояка 3,3 й 3,6м під уніфіковані навантаження 7,5, 13,5, 16,0 кН/м ригеля з урахуванням снігових районів України.

4. В 2008-2010р.р. інститутами об'єднання **УкрНДІагропроект** розроблені проекти будівництва і реконструкції існуючих ферм для створення родильних відділень на молочних товарних фермах, корівників, доїльно-молочних блоків, птахоферм і окремих пташників в Київській (с. Великий Крупіль), Полтавській (с. Штомпелівка), Рівненській (с. Береги), Дніпропетровській (с. Єкатеринівка), Харківській (с. Комунарське), Донецькій (с. Волноваха) областях з використанням залізобетонних рамних конструкцій

прольотом 18 і 21м.

В 1990-2000 роках Державним підприємством **УкрНДПром-цивільсьбуд** запроектовано та побудовано три громадських будівлі з зальними приміщеннями з використанням залізобетонних рамних конструкцій прольотом 18, 21м в Дніпропетровській, Житомирській та Київській областях (спортзал, басейн, кінотеатр). В 2011 році запроектовано та побудовано вісім будівель з виробничими приміщеннями з використанням залізобетонних рамних конструкцій прольотом 18, 21м в с. Шпитьки Київської області. В останні роки в проектах УДПТНДІ ЦА «**Украеропроект**» передбачені будівництво та реконструкція виробничих будинків (ангари ділової авіації, бази спецтранспорту, майстерні та склади різного призначення), з використанням залізобетонних рамних конструкцій прольотом 18 і 21м в аеропортах «Львів», «Дніпропетровськ» та «Одеса».

Списк використаних джерел

1. Першаков В.М. Експериментальні дослідження тришарнірних залізобетонних рам. –К.: Будівництво України. -2011. -№1. -С.17-22.
2. Першаков В.Н. Проектування рамних каркасів зальних приміщень сільських громадських будівель. Збірник наукових праць УкрНДПроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського.-К.: Вид-во «Сталь». -2010. -вип. 6. -С.83-98.
3. Першаков В.М. Каркасні будинки з тришарнірних залізобетонних рам: Монографія / В. М. Першаков - Киев: Книжкове видавництво НАУ. -2007. - 301с.

Аннотація

Приведен опыт использования эффективных трехшарнирных железобетонных рам прольотом 18 и 21м в сельскохозяйственном строительстве Украины, России, Молдавии, Казахстана, а также зарубежья, дана оценка эффективности их использования. Изложены особенности методов расчета и конструирования трехшарнирных железобетонных рам.

Ключевые слова: эффективные конструкции, железобетонные рамы, каркасы, стойки, ригели, малознергоемкие здания, прочность, устойчивость, жесткость, трещиностойкость, тавровое переменное сечение.

Annotation

Present uses of experience effectively trehsharnyryny zhelezobetonny frames span 18 and 21m in construction selskohozyaystvenomu Ukraine, Russia, Moldavy, Kazakhstan, as well as abroad, this assessment of the effectiveness of their uses of. Features. Present methods for calculating and konstruyrovanya trehsharnyryny zhelezobetonny frames.

Keywords: steel frame, columns, I-shaped cross-section with variable web height, buckling resistance of columns, stress-strain condition, optimum structure optimum structure,