

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ РАМНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ

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.

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

Роботамістить 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 стенди 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 вісьмазосередженими силами, по 4 на кожному півпрольоті. Як вантажі використовували попередньо зважені залізобетонні перемички або фундаментні блоки.



Рис. 1. Випробування рами завантаженням штучними вантажами

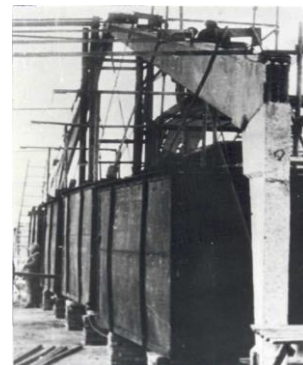


Рис. 2. Випробування рами завантаженням баками з водою

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 (12 рам), стояку (21 рама) поблизу карнизного вузла, в ригелі в зоні позитивного моменту (6 рам), 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 розрив поздовжньої розтягнутої арматури (рис.3,4).

Випробування рам **заміцністю** 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.

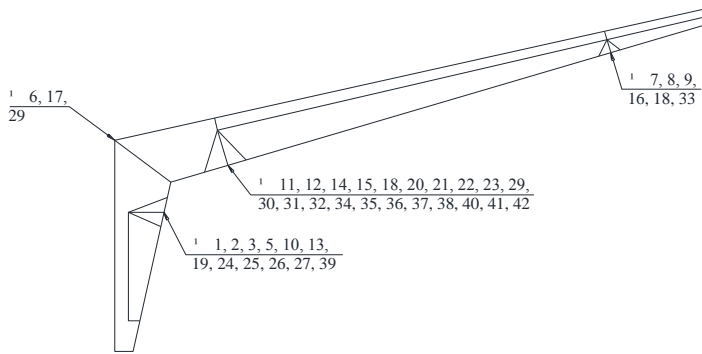


Рис.3. Узагальнена схема місць руйнування 42-х піврам



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 **затріщиностійкістю** показало, що 20 рам

відповідають ДСТУ, ширина розкриття яких менше нормованих 0.15 мм. Рами (11 шт.) умовно відповідають вимогам норм. В відповідності до норм допускається перевищення контрольної ширини розкриття тріщин 0.15 мм на 50%, тобто до 0.225 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 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 тришарні залізобетонні рами до впровадження в будівництві.

Усього було отримано результати випробувань 42 рам, в тому числі 18 суцільних і 24 складених. В суцільних пів рамах 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 приймає 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 стикі карнизного вузла складеної піврами.

Випробування 6 піврам (для рам прольотом 9, 12, 18 і 21 м) з висотою стояків 3,6; 4,2; 5,1 м показали, що втрата їх несучої здатності відбувалась внаслідок досягнення текучості сталі розтягнутої арматури саме в сухому стикі 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 1,5 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 спостерігалося.

Проведено **аналіз порівняння результатів** теоретичних досліджень на ПК ЛІРА з даними експерименту. У КНУБА проведено спеціальні дослідження 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 5,7 м, 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 збільшення висоти стояка до 5,1-5,7 м зростає деформативність рам, що дає суттєвий вплив на величину і розподілення зусиль в елементах рами.

Утворення штучного ексцентрицитету, тобто зміщення шарнірного з'єднання від центру гребеневого вузла униз на відстань ексцентрицитету $e=20-40$ мм, дає зменшення величини згинаючого моменту в ригелях рами до 26-27% порівняно з конструкцією центрального стиснутого гребеневого вузла рами. Наявність ексцентрицитету 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 ЛІРА 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 ЛІРА отримали макс. і мін. моменти M , нормальні сили N і поперечні сили Q , а також ізополя 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.

Проведено досвід 15-ти розробок та застосування багато прольотних та блокованих рамних каркасів. Застосований також принцип блокування однопрольотних каркасів із тришарнірних залізобетонних рам впритул або зі вставками.

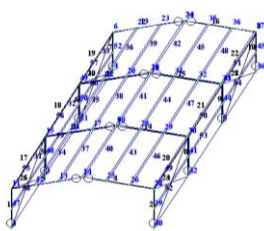


Рис.5. Просторова розрахункова модель будинку. Каркас з рам і плит

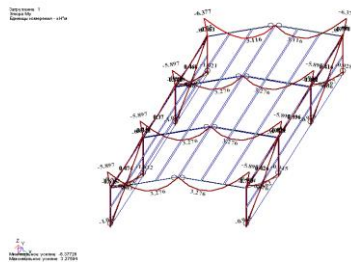


Рис.6. Результати розрахунку: Епюра M_x . Навантаження 1. M_x мін=-6,38кНм, M_x макс=3.28 кНм

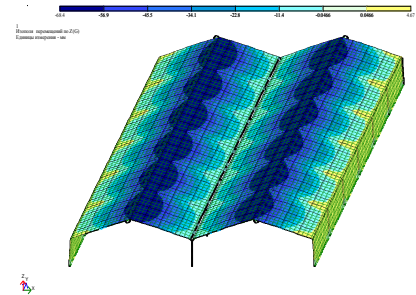


Рис.7. Переміщення рамного каркасу відповідно доосі Z

Аналіз розрахункових і конструктивних схем багатопрольотного рамного каркаса показав, що однією з можливих ефективних схем є схема із шарнірним з'єднанням у гребенях і п'ятах крайніх стояків замикаючих піврам і середніх стояків із защемленням у фундаменті. Такій розрахунковій схемі відповідає багатопрольотний рамний каркас, що може складатися з двох піврам типу РЖС, розташованих у крайніх прольотах, середніх стояків індивідуальної розробки і проміжних ригелів за типом використовуваних у піврамах РЖС.

Проведені розрахунки 3-, 4- і 5- прольотних схем на дію рівномірно-розподіленого навантаження при завантаженні їх по всій довжині каркаса і по черзі на кожному з півпрольотів каркасів. Аналізуючи епюри зусиль 3-, 4- і 5- прольотних рамних каркасів, слід відзначити приблизно однакові їх значення. Так, наприклад, моменти в карнизному вузлі крайнього стояка коливається від 30,0 до 31,0 тм, а у вузлі сполучення двох ригелів середнього стояка – від 25,3 до 28,0 тм.

Розроблено варіант вузла сполучення ригелів із середнім стояком за а.с.№781287. Ригелі з'єднують зі стояком по типу піврам РЖС без зміни опалубних розмірів ригелів. З'єднання ригелів із середнім стояком здійснюються за допомогою зварювання закладних деталей ригелів з кінцем

металевого двотавру №10, заанкереного в залізобетонний стояк. Використання стикового з'єднання дозволяє зменшити матеріаломісткість середнього стояка, знизити вартість на 15%, витрату бетону на 25% і витрату сталі на 5%.

У зв'язку з тим, що багатопрольотний рамний каркас за своєю розрахунковою схемою є статично невизначеною конструкцією, система має здатність до перерозподілу зусиль. Тобто, якщо при пружному розрахунку зусилля в каркасі перевищує значення, при якому утворюється пластичний шарнір, то зусилля в рамі перерозподіляються на менше навантажені вузли.

Для зблокованих будівель запропоновані габаритні схеми багатопрольотного каркасу. Для цих схем використані будівлі прольотам 21 м, у яких відмітка низу ригеля або балки дорівнює 3,0м, а для будівель прольотам 18м – 3,0; 3,6; 4,8 і 6,0 м. Для однопрольотних будівель ця відмітка дорівнює відповідно 2,7; 3,0; 3,3; 3,6 і 4,8 м. Таким чином, номенклатура для одно- і багатопрольотних будинків містить два типорозміру ригелів і шість типорозмірів стояків.

Ефективним типом каркасів одноповерхової багатопрольотної будівлі є конструкція залізобетонного рамного каркасу зі складених прямолінійних елементів по типу РЖС. Теоретично підтверджена можливість використання армування ригелів і крайнього стояка піврам РЖС-21-1600 для багатопрольотного рамного каркасу. Оснащення піврам РЖС-21 і РЖС-18 можна застосовувати у будівництві багатопрольотних каркасних будівель із прольотами 18 і 21 м.

Аналіз результатів експериментально-теоретичних досліджень показує, що рами типу РЖС можна використовувати в блокованих рамних каркасах із вставкою. Спосіб використання вставки до карнизного вузла рами впливає на напружено-деформований стан і несучу здатність блокованого рамного каркасу. Шарнірно-нерухомий стан рам із вставкою знижує несучу здатність блокованого рамного каркасу на 13%, а шарнірно рухомий не впливає на її несучу здатність у порівнянні з окремо плоскою рамою. Отже, необхідно забезпечити вільне опирання і переміщення одного з кінців вставки.

Перспективним типом залізобетонного каркасу багатопрольотної будівлі є рамний каркас, що складається з лінійних елементів з беззварними з'єднаннями у вузлових стиках, спіральним армуванням, попереднім напруженням арматури в ригелях і ефективному покритті на основі азбестоцементних полегшених плит.

На основі узагальнення досвіду розробки і проектування покриття сільськогосподарських виробничих будинків встановлено чотири ефективних типи покриття: з залізобетонними плитами; з полегшеними плитами на деревинному каркасі і азбестоцементними листами; тепле з прогонами;

холодне з прогонами. Аналіз конструктивних рішень 37 типів залізобетонних прогонів показує, що найменш матеріаломісткими і найбільш економічними є конструкції таврових залізобетонних прогонів ПЖТ, які охоплюють необхідний діапазон навантаження, вони легші за масою та найменш матеріаломісткі за витратами бетону у порівнянні з іншими конструкціями прогонів (рис.8,9).

Прогони довжиною 6,0 і 5,5м під навантаження 2,5; 3,75; 5,0 і 6,0кН/м пройшли усі стадії розробки, експериментально апробовані, затверджені Держбудом України, включені в каталоги і рекомендовані до використання у покриттях сільських будівель України.

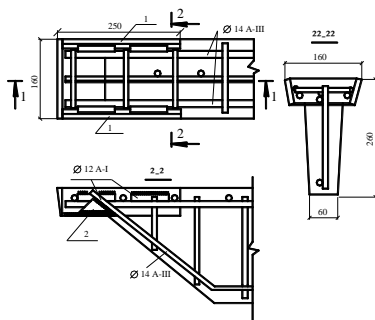


Рис.8. Армування опорного вузла прогону ПЖТ-6-500:1-сталева пластина 55x10x250мм, 2- сталева пластина 90x5x128мм



Рис.9.Залізобетоннітаврові прогони в процесівипробувань

Різноманітність ґрунтових умов, різні можливості виробничих баз будівельних організацій обумовлюють необхідність розробки і використання різних типів фундаментів.

При будівництві каркасних будинків з тришарнірних залізобетонних рам можуть бути рекомендовані такі найбільш ефективні та найменш матеріаломісткі конструкції залізобетонних фундаментів: з похилою підшовою; буронабивна паля з ущільненням ядра; асиметричний фундамент у витрамбованому котловані з похилою або ступінчастою підшовою; клиновидна паля з консоллю; забивної блок ЗБР; блок-паля змінного таврового перерізу (з консолями); пальовий фундамент зі збірним ростверком з коротких елементів за а. с. №1232745; паля з вертикальних елементів, об'єднаних діафрагмами СВД (рис.10,11,12).

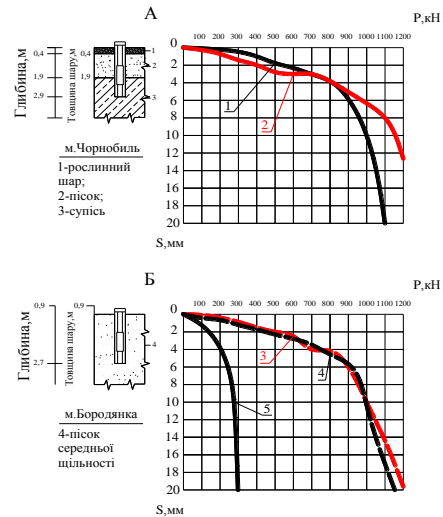
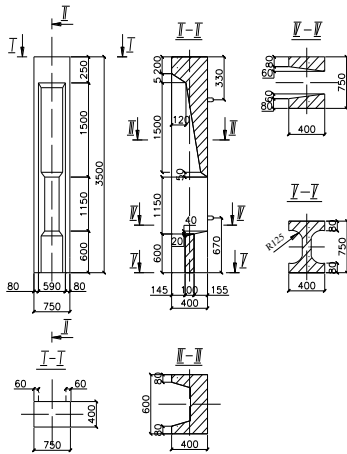


Рис.10. Палі із вертикальних елементів, об'єднаних діафрагмами СВД

Рис.11. Палі СВД в процесі забивання

Рис.12. Графік залежності просідання палей від навантаження: 1,2,3,4 – палі СВД; 5 – звичайні палі

Використання ефективних палей СВД дозволяє зменшити вартість фундаменту за рахунок зниження на 40-50% витрат бетону і сталі та зниження в 2-3 рази трудо місткості зведення фундаменту.

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.

Експериментальне дослідження рам РЖ і РЖС показало надійність армування вузла сполучення ригеля зі стояком з використанням гнutoї 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.

2. Найбільш економічним рішенням залізобетонного каркасу одноповерхового багатопрольотного будинку виробничого призначення є рамний каркас, що складається з лінійних елементів по типу РЖС із беззварними з'єднаннями у вузлових стиках і ефективними покриттями на основі

азбестоцементних полегшених плит. Теоретично підтверджена можливість використання армування ригелів і крайнього стояка піврам РЖС-21-1600 для багатопрольотного рамного каркасу. Оснащення піврам РЖС-21 і РЖС-18 можна застосовувати у будівництві багатопрольотних каркасних будинків із прольотами 18 й 21м.

Аналіз результатів експериментально-теоретичних досліджень показав, що рами типу РЖС можна використати в блокованих рамних каркасах із вставкою. Спосіб кріплення вставки до карнизного вузла рам впливає на напружено-деформований стан і несучу здатність блокованого рамного каркасу. Шарнірно-нерухомий вузол рам із вставкою знижує несучу здатність блокованого рамного каркасу на 13%, а шарнірно-рухомий не впливає на її несучу здатність у порівнянні з окремою рамою. Необхідно забезпечити вільне обпирання й переміщення одного з кінців вставки.

Перспективним типом залізобетонного багатопрольотного сільського будинку виробничого призначення є рамний каркас з лінійних елементів з без зварними з'єднаннями у вузлових стиках, спіральним армуванням, з попереднім напруженням арматури в ригелях й ефективному покритті на основі азбестоцементних полегшених плит.

3. Результати випробувань залізобетонних прогонів відповідають нормативним вимогам. Прогони впроваджують на будівництві сільських виробничих будинків із кроком рам бм з полегшеним покриттям, що складається або із плит типу АКД із наступним укладанням по них азбестоцементних хвилястих листів, або з настилу й покрівлі, виконаних з азбестоцементних листів і мінераловатного утеплювача.

4. Вибір найбільш економічних рішень фундаментів необхідно виконувати з урахуванням виду, характеру і властивостей ґрунтів, гідрогеологічних умов, рельєфу, будівельного майданчика, стану виробничої бази, механоозброєності будівельної організації та інших факторів. При цьому перевагу варто віддавати пальовим фундаментам. У широкому діапазоні ґрунтових умов як фундаменти для будинків з несучими каркасами із тришарнірних рам можна використати залізобетонні палі з різною формою поперечного перерізу, в тому числі за а. с. №1232745А1.

Ефективними фундаментами для будинків з несучим каркасом із тришарнірних рам у ґрунтових умовах І типу за просадністю є: буронабивна похила паля з ущільненим ядром, асиметричний фундамент у витрамбованому котловані з похилою або східчастою подошвою, клиноподібна паля з консоллю, забивний блок ЗБР, блок-паля змінного таврового перерізу СВД і двотаврова паля із клином.

Списвикористаних джерел

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.: Книжкове видавництво НАУ. -2007. - 301с.

Аннотация

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: эффективные конструкции, железобетонные рамы, каркасы, стойки, ригели, прочность, устойчивость, жесткость, трещиностойкость, таврово переменного сечения.

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 for durability, stability, rigidity and crack resistance as well as determining effective sizes of I-section frames.

Key words: effective structures, reinforced concrete frames, skeletons, bars, girders, durability, stability, rigidity, crack resistance, I-section.