

КОНСТРУКТИВНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ ТИПУ «РАМА-БУДІВЛЯ»

Останнім часом у будівництві спостерігається світова тенденція до максимального використання територій, зайнятих залізничними коліями, що дає можливість розташовувати об'єкти будівництва в найбільш комерційно вигідних місцях, адже залізниці, як правило, проходять через центральні райони міст, займаючи при цьому досить значні території.

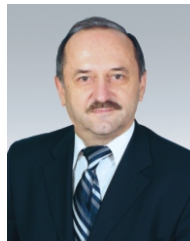
Надколійне будівництво є дуже специфічним видом будівництва, яке потребує вирішення складних конструктивних проблем. Відстань між залізничними коліями, як правило, унеможливає використання проміжних опор. Тому при проектуванні будівель над коліями необхідно оцінити можливості перекриття великих прогонів без застосування проміжних опор, використовуючи нові типи будівельних систем та шукаючи варіанти їх конструктивної реалізації.

Вперше необхідність перекриття великого прогону при будівництві громадського об'єкта виникла в м. Міннеаполіс (США). При проектуванні будівлі Федерального Резервного Банку в 1972 р. використати проміжні опори заважав архівний комплекс та сховища, розташовані на підземних рівнях. Архітектор Гуннар Біркертс запропонував використати в якості основного несучого елемента попередньо напружену перевернуту арку, опертую на дві масивні залізобетонні колони, розташовані по обидві сторони фасаду будівлі (рис. 1). Передача зусилля попереднього напруження здійснювалась за допомогою системи тросів загальною масою 92 т. Для сприйняття розпору в верхній частині конструкції запроектована ферма заввишки 10 м.



Д.А. Юрков

викладач кафедри будівель та будівельних матеріалів
Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДІІТ)



В.Ф. Худенко

директор центру дистанційної освіти,
доцент кафедри будівель та будівельних матеріалів
Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДІІТ),
к.т.н.



Д.О. Банніков

завідуючий кафедрою будівельних конструкцій
Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДІІТ),
д.т.н.

Зазначена система здатна підтримувати над землею 11 поверхів зі сталі та скла при загальному прогоні 100 м.

Таке рішення дозволило Гуннару Біркертсу розмістити в центрі міста будівлю загальною корисною площею 15500 м². У 1974 р. будівля була відзначена декількома архітектурними нагородами та визнана однією з найбільш цікавих конструкцій світу, однак у 2002 р. при реконструкції нижня частина її була засклена і задумку автора було втрачено.

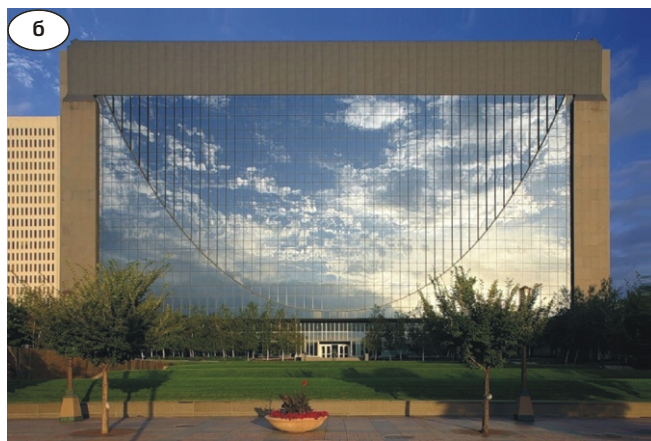


Рис. 1. Будівля Федерального Резервного Банку США в м. Міннеаполіс до (а) та після (б) реконструкції



Рис. 2. Exchange House над коліями залізничної станції Liverpool Street у м. Лондон



Принципово інший підхід реалізований при будівництві 10-поверхової будівлі біржі над залізничними коліями станції Liverpool Street у м. Лондон (Великобританія). Проект Exchange House був розроблений всесвітньо відомим американським архітектурним бюро «Skidmore, Owings and Merrill» та здобув не одну нагороду за своє оригінальне вирішення. На відміну від Федерального Резервного Банку США в Міннеаполісі, де будівля «підвішена» до основної конструкції, несучу функцію в структурі Exchange House виконує весь просторовий каркас, ключовим елементом якого є чотири металеві арки, дві з яких помітні ззовні (рис. 2).

Сумісна просторова робота арок та каркаса основної будівлі забезпечується жорстким з'єднанням вертикальних елементів (колон каркаса) з елементами арки у вузлах. Такий підхід дозволив запроектувати каркас із використанням відносно невеликих перерізів, що при загальному прогоні будівлі 60 м надає конструкціям легкості. Проектування та будівництво Exchange House продовжувалось протягом 1985–1991 років. Будівля стала однією з найцікавіших у комплексі Exchange Square.

Завершила формування комплексу Exchange Square 35-поверхова офісна башта Broadgate Tower – четверта за висотою в м. Лондон (рис. 3).



Рис. 3. Broadgate Tower над коліями залізничної станції Liverpool Street у м. Лондон

Будівельні роботи тривали 4 роки і були закінчені в 2009 р., а проектні розробки бюро «Skidmore, Owings and Merrill» розпочало ще в 1991 р. Було розглянуто багато варіантів перед остаточним прийняттям рішення щодо будівництва башти. Broadgate Tower розташована на платформі вагою 6000 т над залізничними коліями, які ведуть до станції Liverpool Street, що викликало необхідність розроблення проекту, який би забезпечував раціональний розподіл ваги башти та необхідну міцність. Для цього основні будівлі були розташовані ближче до опор, що дало змогу зменшити навантаження всередині прогону. При цьому башти функціонально і конструктивно зв'язувались між собою. Центральна частина конструкції включає розпірні елементи у вигляді системи діагональних балок, які одночасно підтримують середню частину платформи, що виконує функцію зеленої зони відпочинку. Проектні рішення Broadgate Tower дали можливість «накрити» залізничні колії конструкцією загальним прогоном 60 м. Корисна площа будівлі складає 37000 м², а будівництво башти дозволило максимально використати потенціал майданчика біля крупного транспортного вузла та стало новим етапом у забудові міста.

ральна частина конструкції включає розпірні елементи у вигляді системи діагональних балок, які одночасно підтримують середню частину платформи, що виконує функцію зеленої зони відпочинку. Проектні рішення Broadgate Tower дали можливість «накрити» залізничні колії конструкцією загальним прогоном 60 м. Корисна площа будівлі складає 37000 м², а будівництво башти дозволило максимально використати потенціал майданчика біля крупного транспортного вузла та стало новим етапом у забудові міста.

Зазначені конструкції дозволили сформувати загальний підхід до проектування великопрогонових будівель та проаналізувати його ефективність, проте вони не набули широкого розповсюдження.

Дослідженню великопрогонових конструкцій присвячені праці відомих вчених та архітекторів – В.Т. Васильченка [1], Н.С. Стрелецького, А.Н. Зверева, В.К. Файбишенка [2], А.В. Перельмутера [3], Г.А. Генієва, В.В. Болотіна та ін., але в основному вони стосуються покриттів будівель. Згадувались такі будівлі деякими європейськими авторами – Бертоліні Л., Спліт Т. [4], Вакар, Х. Шнайдер [5], Л.Ф. Сервер [6], Ферраріні А.Е., Брейн [7] та ін., але специфіка їх будівництва ними не відображена. Публікації містять в основному дані про архітектурні особливості окремих конкретних об'єктів або їх елементів. Крім того, відсутні будь-які розрахунки та рекомендації щодо конструювання та вибору оптимальних рішень, не кажучи вже про нормативну базу проектування та будівництва.

Така ситуація свідчить про актуальність теоретичного та практичного розроблення прийомів конструктивної реалізації систем типу «великопрогонова рама-будівля». На основі попередніх досліджень раціональних варіантів конструктивних систем великопрогонових рам-будівель розроблені найбільш важливі та відповідальні з конструктивної точки зору елементи.

Конструктивні рішення. Досліджувались два варіанти розрахункових схем (РС) великопрогонових рам-будівель – РС № 2 та РС № 10, які за результатами попередніх досліджень були визнані найбільш раціональними серед десяти запропонованих (рис. 4).

Параметри будівель визначались із урахуванням конкретного місця їх розташування – району Центрального залізничного вокзалу м. Дніпропетровськ: прогін – 80 м, ширина – 25 м, висота – 12 поверхів по 3,2 м для РС № 2 та 16 поверхів по 3,2 м для РС № 10. Функціональне призначення поверхів відповідає сучасним вимогам до будівель даного класу: 1–3 поверхи – торгові площі, 3–12 (16) поверхи – офісні приміщення.

У РС № 2 несучий елемент має вигляд арки, в РС № 10 – рами з трикутною решіткою. При цьому для кожного варіанта РС було запропоновано два принципові підходи до конструктивної реалізації каркаса:

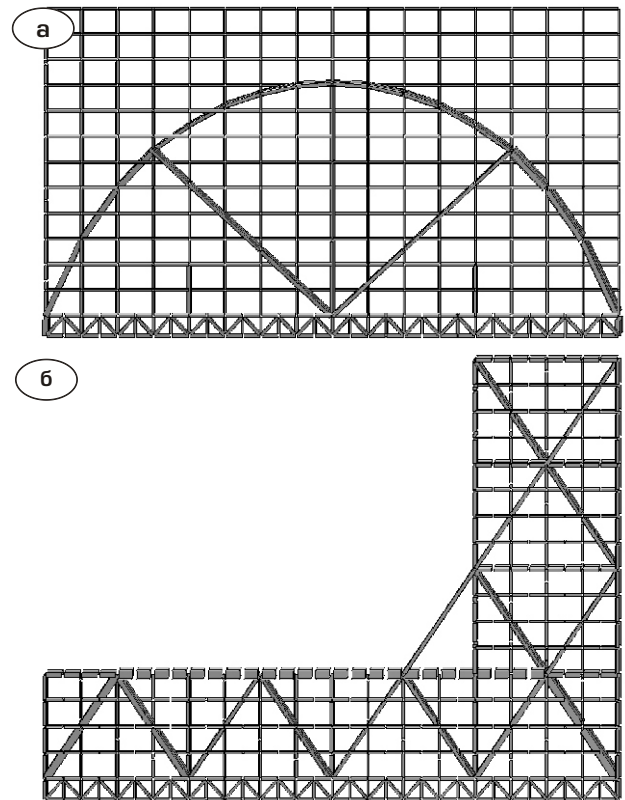


Рис. 4. РС № 2 (а) та РС № 10 (б)

- окремий каркас та рама не пов'язані між собою;
- рама конструктивно об'єднана з каркасом будівлі в єдиний просторовий елемент.

Перевагою першого підходу є відносно прості рішення вузлів, що в цілому значно полегшує процес проектування будівлі, виготовлення елементів та їх монтаж і, як наслідок, скорочує термін будівництва. Другий підхід дозволяє відчутно знизити матеріалоємність конструкції за рахунок інтенсивного включення всіх її елементів у просторову роботу. Основний недолік – складне виконання вузлових з'єднань, що окрім збільшення термінів будівництва ставить дуже високі вимоги до якості елементів та їх монтажу. Визначити кращий підхід можливо тільки шляхом проведення розрахунків для кожної конкретної конструкції та співставлення отриманих результатів.

З цієї метою дослідження проводились у два етапи. На першому етапі виконувався попередній розрахунок, який дозволив встановити кількісні показники ефективності кожного підходу. Розрахунок рами виконувався методом скінченних елементів (МСЕ) за допомогою програмно-обчислювального комплексу SCAD [8, 9].

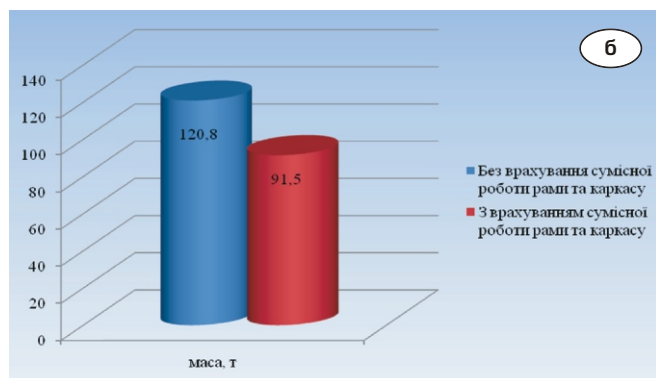
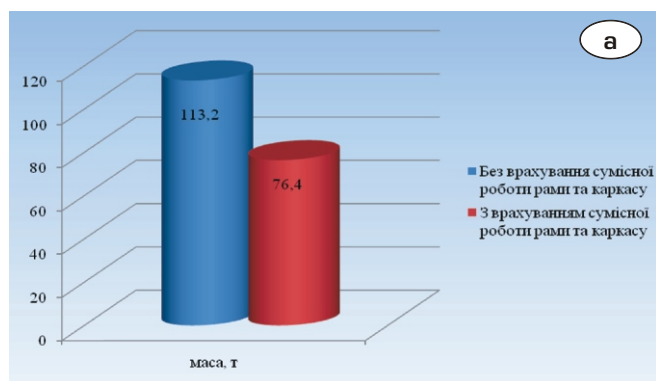


Рис. 5. Маса рами будівлі для РС № 2 (а) та РС № 10 (б)

Результати порівняльного аналізу розрахунків представлені на діаграмах (рис. 5, 6).

При визначенні маси конструкцій у розрахунках приймалися найменші перерізи, які задовольняють вимогу міцності.

Щодо зменшення маси найбільш раціональним варіантом конструктивного рішення виявився той, який враховує сумісну роботу несучої рами та каркаса основної будівлі. В цьому випадку економія матеріалу склала 48 % для РС № 2 та 32 % для РС № 10.

Щодо зменшення загального прогину найбільш раціональним варіантом також виявився той, який враховує сумісну роботу рами та каркаса. При цьому різниця є ще більш відчутною – для РС № 2 зменшити прогин вдалось в 4,5 раза, а для РС № 10 – майже в 2,4 раза. Варто зазначити, що згідно з ДСТУ [10] нормативне значення загального прогину для даних конструкцій складає $f = 27$ см, що унеможливорює проектування розглядуваних РС без урахування сумісної роботи рами та каркаса. Крім того більш чутливою до зміни конструктивних рішень за всіма параметрами є РС № 2. На основі цих даних було прийнято другий варіант, який передбачає врахування зв'язків несучої рами з елементами каркаса основної будівлі.

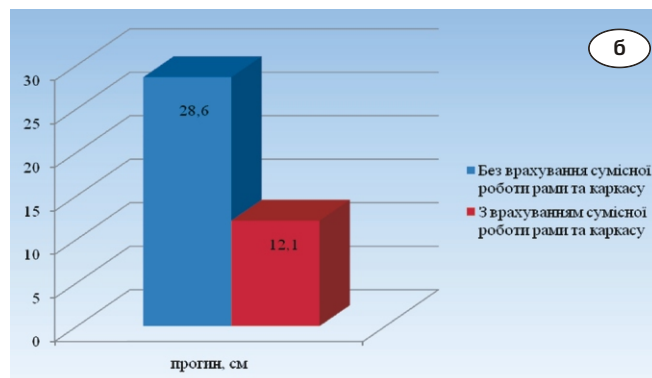
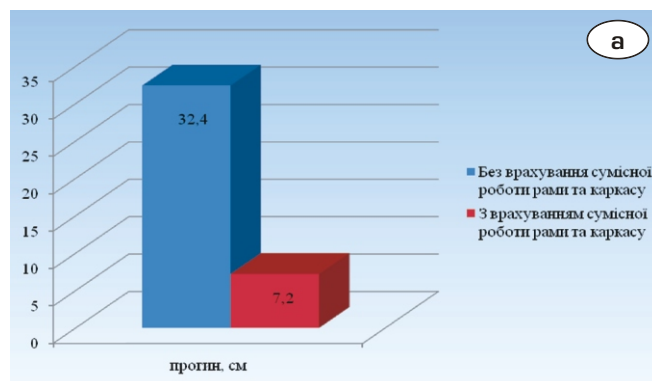


Рис. 6. Прогин рами будівлі для РС № 2 (а) та РС № 10 (б)

На другому етапі проводився детальний розрахунок елементів рами та виконувався підбір перерізів усіх її конструктивних елементів (див. таблицю). Позначення елементів, для яких здійснювався підбір перерізів, наведено на рис. 7.

Прийняті перерізи несучих елементів рам

Конструктивний елемент	РС № 2	РС № 10
BM1	II 70БC5	II 70БC5
BM2	II 70БC5	II 70БC3
BM3	II 70БC4	II 70Б1
BM4	II 60БC5	II 35Б1
BM5	II 50БC4	II 23Б1
BM6	II 50БC4	II 55Б1
BM7	II 50БC3	II 70БC4
BM8	II 45БC2	II 70Б1
BM9	II 40П	II 40Б1
BM10	II 40П	II 55Б1
BM11	II 36П	II 35Б1
BM12	II 18П	II 50Б1
BM13	II 18П	II 40Б1
BM14	—	II 30Б1
BM15	—	II 60Б1
BM16	—	II 26Б1

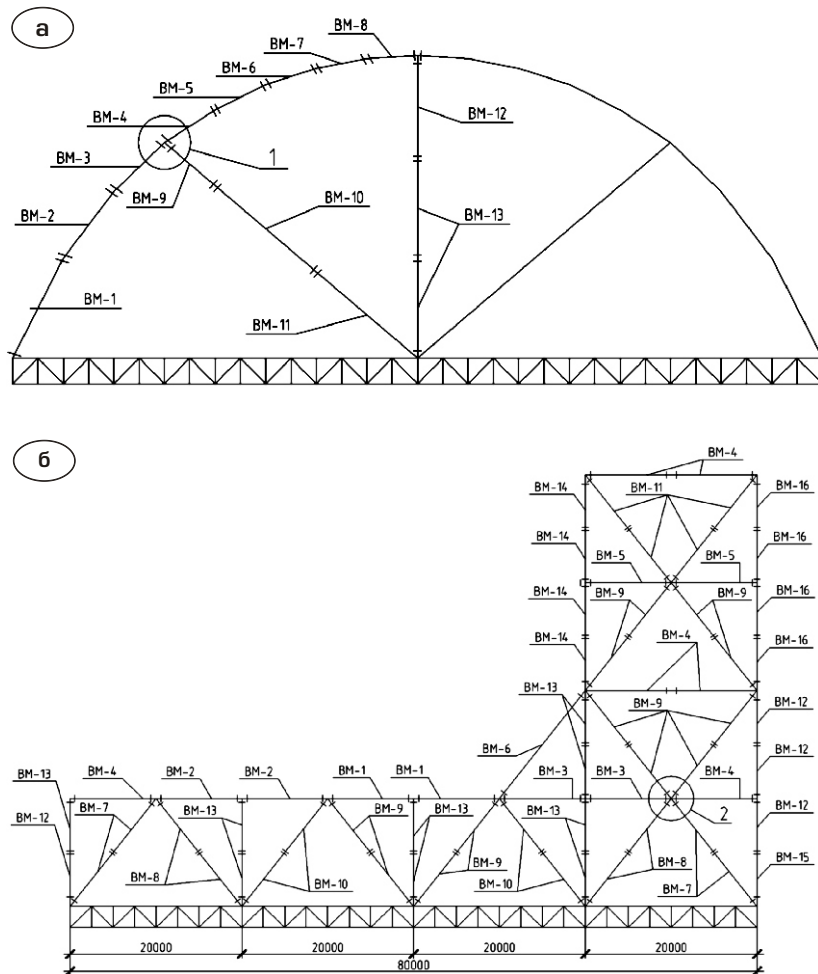


Рис. 7. Позначення елементів несучих рам для РС № 2 (а) і РС № 10 (б)

Для прийнятих систем великопрогонових рам-будівель найбільш важливим із конструктивної точки зору є розроблення вузлових з'єднань. Відсутність стереотипів для їх проектування потребує спеціального типологічного аналізу та розроблення нових конструктивних прийомів та підходів. При цьому особливу увагу слід приділяти вузлам з'єднання елементів рами з вертикальними елементами каркаса (колонами). За можливості слід зменшувати будівельний коефіцієнт, що обумовлює зменшення витрат матеріалу, зниження вартості, трудомісткості виготовлення і монтажу, термінів будівництва та інших техніко-економічних показників. Окрім цього, необхідно враховувати негативний вплив вібрації рухомого складу залізничного транспорту на роботу конструкції.

Із урахуванням цих рекомендацій були розроблені пропозиції щодо конструювання найбільш відповідальних вузлів.

У вузлі № 1 РС № 2 з'єднання елементів арки ВМ-3 та ВМ-4 запроєктовано на високоміцних болтах, що

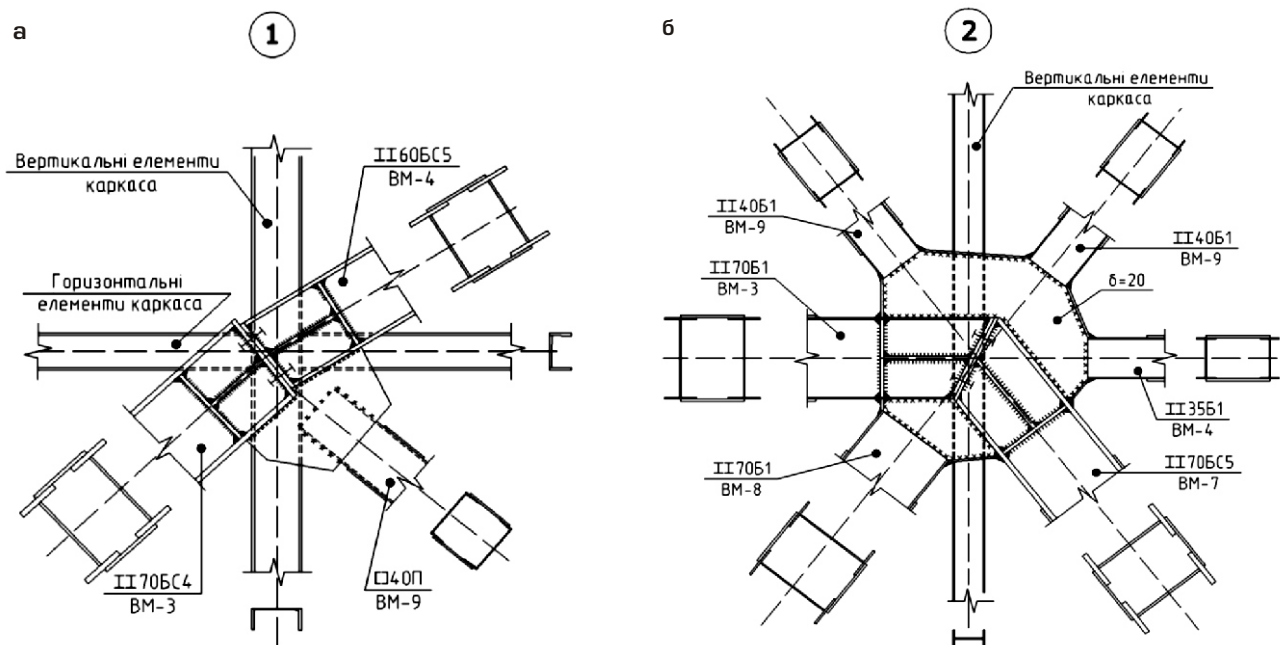


Рис. 8. Конструктивне рішення вузлів № 1 РС № 2 (а) та № 2 РС № 10 (б)

значно спрощує монтажні роботи та забезпечує високу надійність конструкції. Виконати болтове з'єднання тяжа (ВМ-9) з елементами арки конструктивно більш складно, тому запропоновано зварне з'єднання із застосуванням кутових швів. При цьому обов'язковою вимогою до виконання зварних робіт є використання електродів із маркуванням «А» (підвищення пластичних властивостей шва). Елементи арки запроєктовано у вигляді спарених двотаврів, відстань між якими визначалась із умови розташування між ними вертикальних та горизонтальних елементів каркаса основної будівлі. При конструюванні вузла № 2 РС № 10 з'єднання найбільш навантажених елементів (ВМ-3 та ВМ-7) також виконано на високоміцних болтах (рис. 8).

Інші елементи рами, що прилягають до вузла, за результатами розрахунків виявились значно менш навантаженими. Їх з'єднання у вузлі виконано за допомогою зварювання. Обварення фасонки кутовими швами не забезпечує достатньо сумісну роботу елементів. Більш технологічним виявилось приварювання фасонки до стінок двотаврів стиковими швами. Використання кутових швів було б значно простішим і дало б змогу отримати значні допуски при виготовленні конструкції, але в такому випадку можлива поява концентрацій напружень, що особливо небажано при динамічних навантаженнях, які діють на раму. Використання стикових швів різко знижує концентрацію напружень, але потребує досить точної роботи з виготовлення та монтажу.

Елементи рами запроєктовано у вигляді спарених двотаврів з метою уникнення місцевих ексцентриситетів, відстань між осями яких задавалась однаковою, але з дотриманням умови розташування між ними вертикальних та

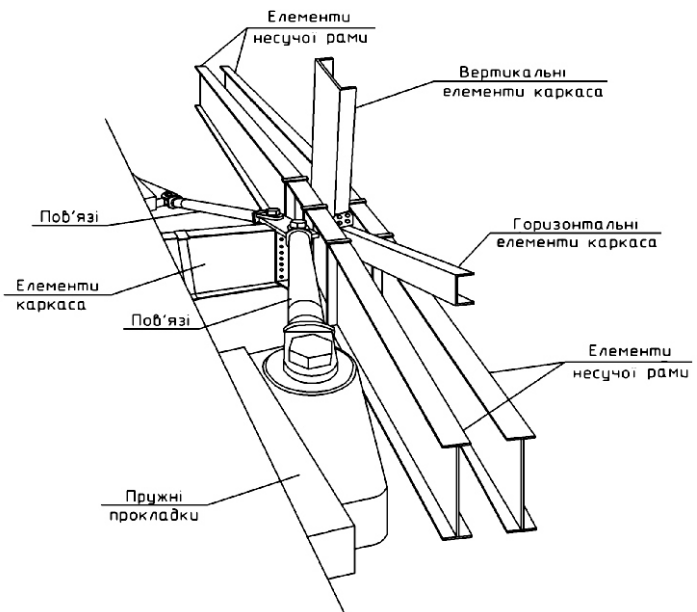


Рис. 9. Фрагмент з'єднання несучої рами з каркасом будівлі

горизонтальних елементів каркаса основної будівлі.

Важливою архітектурно-конструктивною особливістю несучого каркаса будівлі є те, що арка та перший ряд колон винесені за фасад будівлі. Стійкість арки при цьому забезпечується з'єднанням її з каркасом (рис. 9), що дозволяє за рахунок забезпечення сумісної роботи всього комплексу несучих конструкцій знизити їх масу, одночасно підвищуючи несучу здатність та жорсткість.

Висновки. Результати досліджень дають підстави стверджувати, що розглянуті конструкції здатні перекривати значно більші прогони (за попередніми оцінками, до 100–120 м) при значно більшій загальній корисній площі будівлі. Таким чином, можна дійти висновку, що подальші дослідження великопрогонових рам-будівель є досить перспективними.

- [1] Васильченко В.Т. Справочник конструктора металлических конструкций/Васильченко В.Т. – Киев, 1980. – 288 с.
- [2] Файбишенко В.К. Металлические конструкции: учеб. пособие/Файбишенко В.К. – М.: Стройиздат, 1984. – 336 с.
- [3] Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа/А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – Киев: Сталь, 2002. – 600 с.
- [4] Bertolini L. Cities on rails/L. Bertolini, T. Split. – Utrecht University, 1998. – 320 p.
- [5] Vakar L. Railway Station Structures Designed for Densely Populated Urban Areas/L. Vakar, H. Snijder – Utrecht, 2001. – 280 p.

- [6] Cerver F. The architect of stations and terminals/ F. Cerver. – New York, 1997. – 330 p.
- [7] Brian E. The Modern station – New Approaches to railway Architecture/ E. Brian. – London, 1997. – 450 p.
- [8] Карпиловский В.С. SCAD для пользователя/В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунрв, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер, А.Н. Трофимчук. – К.: ВВП Компас, 2000. – 332 с.
- [9] Перельмутер А.В. Метод конечных элементов и строительная механика/А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – Труды ЛПИ № 369. – Л. 1979. – 340 с.
- [10] ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини і переміщення. Вимоги проектування/Мінбуд України. – Київ, 2006. – 30 с.

Надійшла 30.08.2011 р.