

УДК 624.138.33

*М.В. Бібік, к.т.н., доцент  
В.М. Бібік, ст. викладач  
К.Г. Бжовська, магістр  
М.В. Лавренко, магістр*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ТИПІВ ПЕРЕРІЗІВ ПОПЕРЕЧНОЇ РАМИ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСУ**

*Наведено результати розрахунку та проаналізовано два типи рам із суцільностінчастим двотавровим зварним ригелем та наскрізним (решітчастим) ригелем з прокатних профілів. Отримано більш раціональний варіант рами з точки зору внутрішніх зусиль, згідно з якими було запропоновано конструкцію рами спорткомплексу для м. Полтава та встановлено більш економічний варіант. Указано переваги та недоліки запропонованих конструкцій.*

***Ключові слова:** рама, порівняння варіантів проектування ригеля рами, суцільний ригель, наскрізний ригель, вага.*

УДК 624.138.33

*Н.В. Бибик, к.т.н., доцент  
В.М. Бибик, ст. преподаватель  
Е.Г. Бжовская, магистр  
М.В. Лавренко, магистр*

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ТИПОВ СЕЧЕНИЙ ПОПЕРЕЧНОЙ РАМЫ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА**

*Приведены результаты расчета и проанализированы два типа рам с сплошностенчатым двутавровым сварным ригелем и сквозным (решетчатым) ригелем из прокатных профилей. Получен более рациональный вариант рамы с точки зрения внутренних усилий, согласно с которыми было предложена конструкция рамы спорткомплекса для г. Полтава и установлен более экономический вариант. Указано преимущества и недостатки предложенных конструкций.*

***Ключевые слова:** рама, сравнение вариантов проектирования ригеля рамы, сплошной ригель, сквозной ригель, вес.*

UDC 624.138.33

*M.V. Bibik, PhD, Associate Professor  
V.M. Bibik, senior lecturer  
K.G. Bzhovskaya, master, MPhil  
M.V. Lavrenko, master, MPhil*

*Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

## **CHOOSING THE BEST TYPE OF CROSS-SECTIONS FOR THE FRAME OF SPORTCOMPLEX**

*2 types of frames with crossbar continuous section from welded girders and crossbar lattice section from rolling profiles were calculated and analyzed in the article. The rational*

*option of frames was obtained. Frame structure of sport complex was proposed for Poltava and established more economic version. Proposed structure's advantages and defects were indicated.*

**Keywords:** *frame, compare design options crossbar frame, crossbar continuous section, crossbar lattice section, weight.*

**Вступ.** На сьогоднішній день існують дві основні конструкції ригелів: наскрізний (ферма) і суцільний (балка). При їх порівнянні необхідно звернути увагу на те, що ферма є більш економічною порівняно з балкою. Та розвиток науки з кожним днем приводить до досягнення економічності балкового покриття (використання змінного перерізу балки) і вимагає постійного пошуку нових конструктивних форм балкових покриттів, які б спричинили зменшення їх маси та вартості. Вибір раціональної конструкції ригелів покриття зводиться до варіантного проектування. На цій стадії розглядаються декілька варіантів майбутньої конструкції, що різняться між собою висотою, перерізами. Спільними при цьому для всіх варіантів є головні геометричні параметри конструкції та обмеження (проліт, граничні прогини тощо). Найважливішою умовою вибору раціональної конструктивної форми є зниження витрати матеріалів

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Питанням оптимізації конструкції рами займалися В.В.Катюшин [3], О.О.Нілов, В.О.Пермяков [4], В.Ю.Алпатов, О.В.Соловійов, І.С.Холопов [5], І.Д.Пелешко, В.В.Юрченко[6] та інші.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Історія досліджень раціональних форм ригеля рам нараховує понад 200 років. Перед конструкторами завжди стояло питання: ригель – балка, яка є достатньо простою у виготовленні, чи ригель – ферма, в якій метал використовується раціональніше, тобто вона легша за масою, економічніша. Однак, незважаючи на це, а також на те, що цим питанням займалися відомі вітчизняні та закордонні інженери й учені, окремі проблеми пошуку раціональної форми типу ригеля рами потребують додаткового вивчення.

**Постановка завдання.** Метою статті є аналіз сучасних типових конструкцій рам та порівняння двох типів рам з суцільним та наскрізним ригелем за такими характеристиками: внутрішні зусилля в рамі, переміщення, економічність, а також вибір оптимального типу перерізу поперечної рами.

**Основний матеріал і результати.** Основу каркасів одноповерхових будівель становлять плоскі поперечні рами, утворені колонами та ригелями. Поперечні рами забезпечують геометричну незмінюваність і жорсткість каркаса у поперечному напрямку. Основні особливості конструктивних рішень каркаса, що враховують умови експлуатації, величину та кількість прольотів, наявність та вид кранового обладнання, відображаються перш за все у схемах поперечних рам і обумовлюють їх велику різноманітність.

Визначальною особливістю поперечних рам є конструкції ригелів, які можуть бути наскрізними і суцільними. Для традиційних рішень одно- та багатопротитних рам із прольотами 18...36м характерне використання наскрізних ригелів, які довгий час вважалися більш раціональними за витратами сталі, ніж суцільні. Висновок щодо ефективності застосування наскрізних ригелів базується на багаторічному досвіді проектування сталевих каркасів, що призначалися для сприйняття великих навантажень, в тому числі й від власної ваги важких залізобетонних плит, які широко використовували раніше та інколи використовують й досі як несучі елементи покриття.

Останнім часом значного поширення в практиці знайшли легкі металеві конструкції одно поверхових будівель, у тому числі конструкції комплектної поставки.

Для легких металевих конструкцій (ЛМК) характерне використання ефективних марок сталей та профілів, відмова від зварювання на монтажі й заміна її сучасними з'єднаннями на високоміцних болтах та фланцевими з'єднаннями.

Широке впровадження легших елементів (прогонів із гнутих профілів, сталевих профільованих листів, ефективних утеплювачів) суттєво зменшило власну вагу покрівлі, що в результаті підвищило ефективність суцільних ригелів, які виготовляються із двотаврового перерізу.

Запропоновані схеми рам мають певні переваги та недоліки одна перед одною. Розглянемо їх більш детально і зробимо відповідні висновки.

Рамні конструкції із зварних двотаврів мають ряд переваг стосовно решітчастих конструкцій. До очевидних переваг можна віднести високу технологічність цих конструкцій за всіма підготовчими та збірними операціями, можливість глобальної автоматизації виробництва, виключну надійність, у тому числі при впливі динамічних навантажень і низьких температур, підвищену корозійну стійкість, малу будівельну висоту, яка дозволяє суттєво зменшити будівельний об'єм будівель і практично виключити додаткове монтажне складання, що властиво фермам великих прольотів, тощо.

До додаткових, неявних переваг суцільностінчастих конструкцій, необхідно віднести таке:

1. Використання обмеженого порівняно з іншими конструкціями сортаменту вихідних матеріалів. Так, використання листа 4-6 товщин дозволяє практично повністю замінити весь сортамент прокатних двотаврів (біля 100 позицій). Використання листа для виробництва другорядних конструкцій каркаса ( прогонів покрівлі й стін, легких ригелів і т.д.) із гнутих профілів дозволяє виключити жорстку залежність розробника від постачальників при випуску найрізноманітніших будівель і споруд.

2. Виробництво елементів рамних конструкцій будівель різних розмірів обрису та перерізів мають одну технологічну базу, що робить можливим випускати каркаси будівель різних розмірів і конфігурацій, використовуючи один набір обладнання.
3. Застосування елементів із зварних двотаврів дозволяє отримати при проектуванні найбільш оптимальні за ваговими показниками перерізи, параметри яких можуть змінюватись у широких межах, на відміну від дискретної зміни параметрів прокатних профілів. Це дозволяє широко використовувати при проектуванні методи оптимізації, а відсутність жорсткої залежності від постачань вихідних матеріалів і гнучкість виробництва реалізувати отримані оптимальні рішення на практиці.

Порівняння 2-х варіантів поперечних рам виконано на прикладі металевого каркаса спортивного комплексу в м. Полтава. Було прийнято такі параметри розрахунку:

- 1) тип ригеля рами: суцільний та наскрізний;
- 2) розрахункова схема рам: безшарнірна (рис.1,а) та з шарнірним спіранням ферми на колони (рис.1,б);
- 3) двопролітна рама (прольоти 26,8 та 39,88 м);
- 4) навантаження на раму:
  - постійне навантаження на раму – 6,3 кН/м;
  - снігове навантаження – для 5-го снігового району;
  - вітрове навантаження – для 3-го вітрового району.

Розрахунки виконано за допомогою програмного комплексу SCAD Office 11.3, в основу якого покладено метод скінченних елементів. Отримано дані для порівняння двох типів конструкцій за трьома характеристиками: внутрішні зусилля в рамі, переміщення в рамі та вага рами.

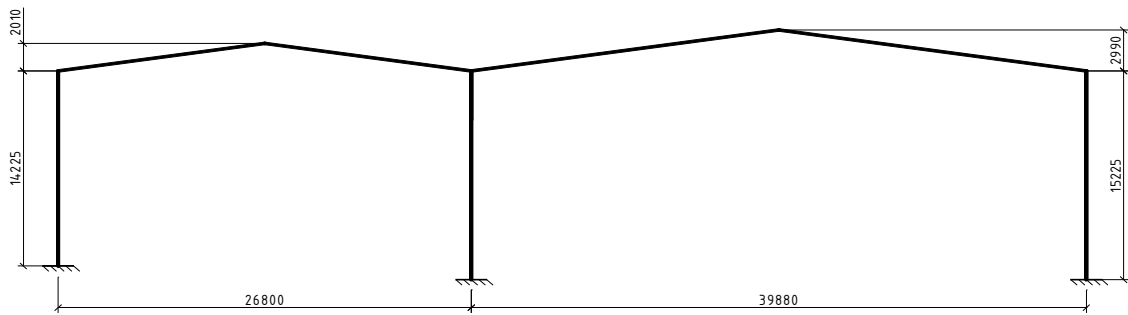
Результати розрахунків наведено в таблицях 1-3 та рис.1, 2.

*Аналіз рам за внутрішніми зусиллями залежно від типу ригеля*

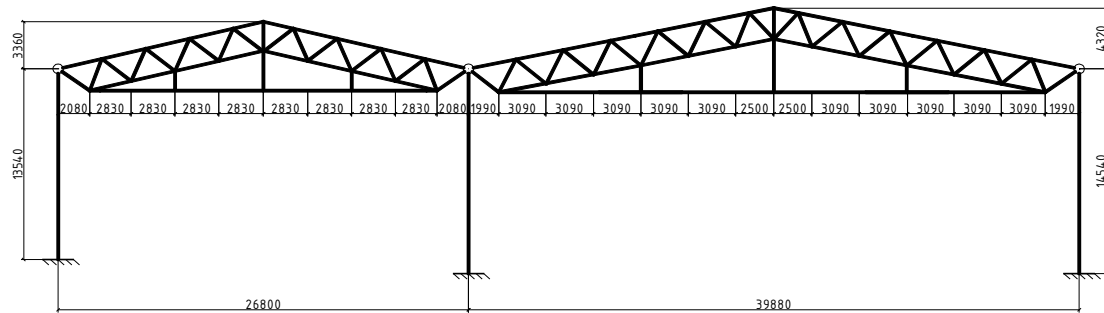
**Таблиця 1. Максимальні значення параметрів  $M$  та  $N$  в рамах (кНм, кН)**

Конструкція	$M$	$N$	Конструкція	$M$	$N$
Балка 26,8м	1391	-174	Ферма 26,8м	-	-404
Балка 39,88м	2453	-313	Ферма 39,88м	-	-742
Колона	2273	-694	Колона	331	-581

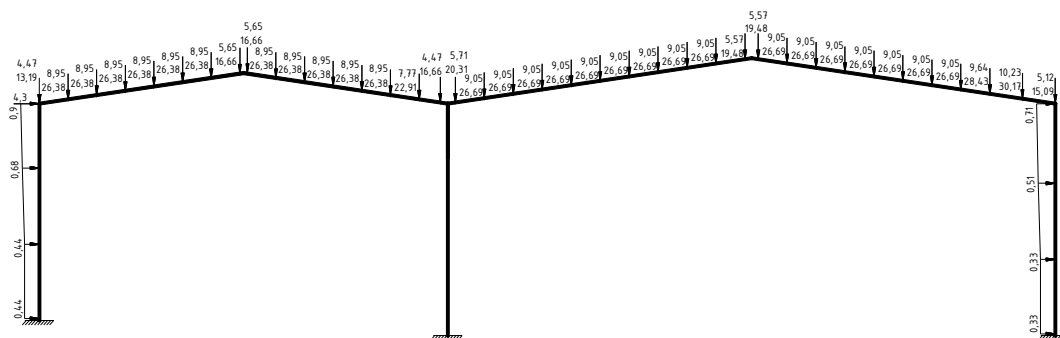
Як показали результати розрахунків, значення згинальних моментів  $M$  значно збільшуються в колонах (в 6,5 рази), і в той же час дорівнюють нулю в наскрізному ригелі, що є його перевагою.



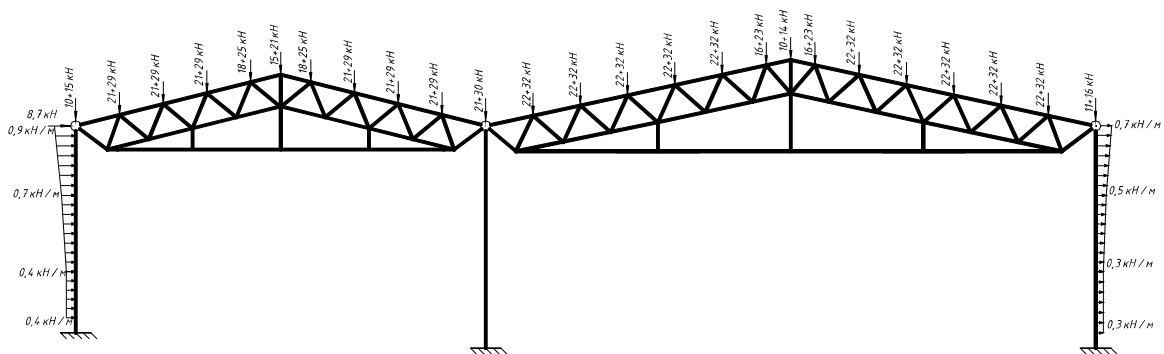
**а**



**б**

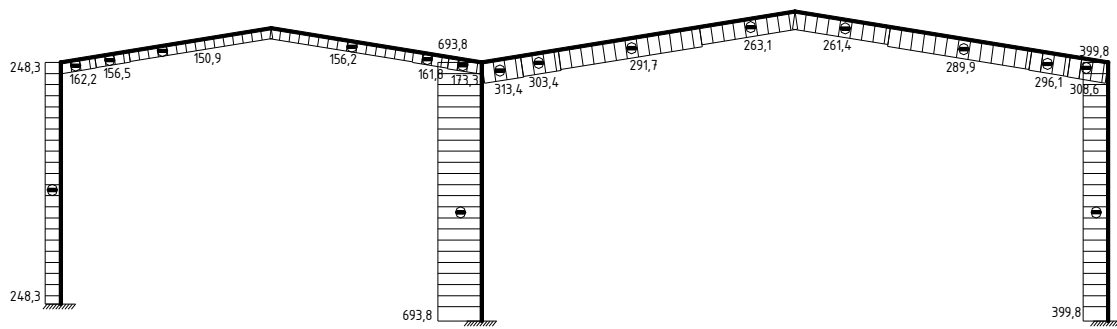


**в**

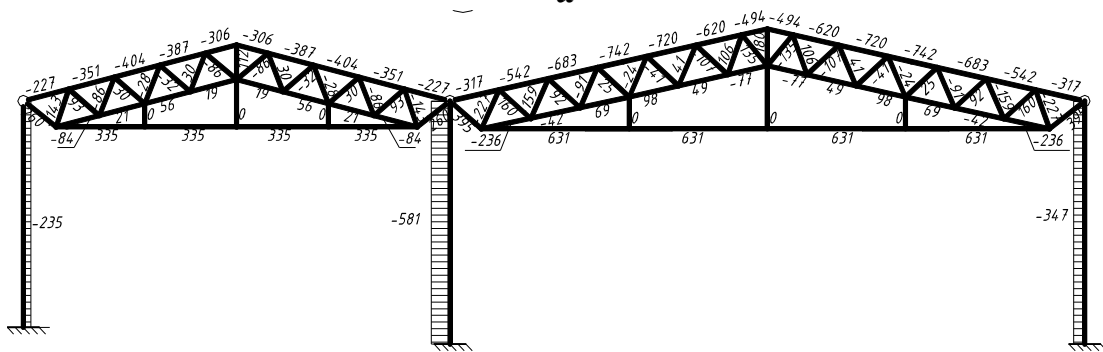


**г**

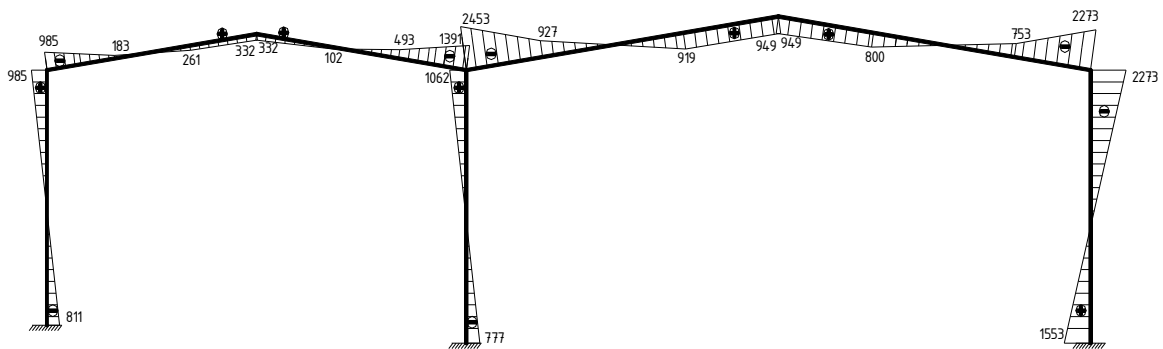
**Рисунок 1. Параметри рам, що порівнюються  
(із суцільним та наскрізним ригелем):  
а, б – розрахункові схеми поперечної рами;  
в, г – навантаження, прикладені до поперечної рами**



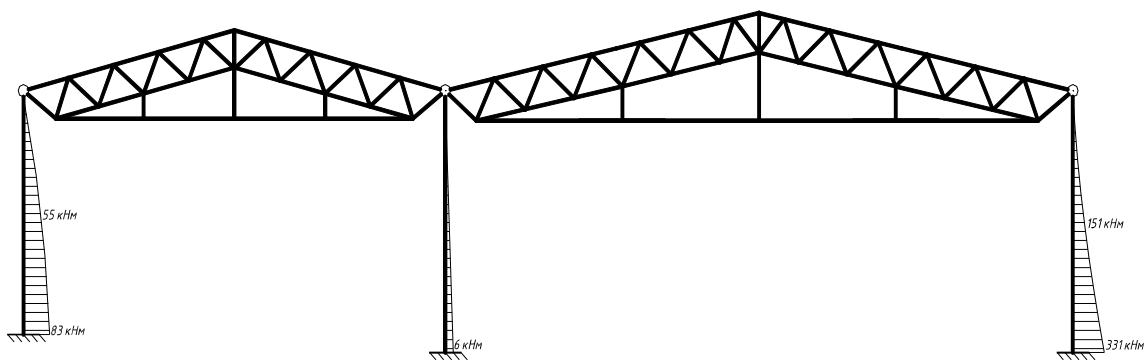
а



б



в



г

**Рисунок 2. Результати розрахунку рам, що порівнюються (із суцільним та наскрізним ригелем): а, б – епюри поздовжніх сил для найбільш небезпечного сполучення навантажень (кН); в, г – епюри згинальних моментів для найбільш небезпечного сполучення навантажень (кНм)**

Значення поздовжньої сили значно менші в суцільних ригелях (у 3,5 разу) порівняно з наскрізними. А у колонах рами з наскрізним ригелем значення поздовжньої сили менше (майже в 1,5 разу).

*Аналіз рам за переміщеннями залежно від типу ригеля*

**Таблиця 2. Максимальні значення параметра абсолютне (відносне) переміщення в рамах, мм**

Конструкція	Переміщення	Конструкція	Переміщення
Балка 26,8м	49 (1/546)	Ферма 26,8м	47 (1/570)
Балка 39,88м	132 (1/302)	Ферма 39,88м	104 (1/383)
Колона	28 (1/483)	Колона	20 (1/677)

Відсоткові відношення збільшення переміщень у балках прольотом 26,8 м (до 4%) , у балках 39,88 м (до 27%), у колонах (до 40%). Згідно з нормами співвідношення  $f/L$  для балки 26,8 м:  $49/26800=1/546 < 1/300$ , для балки 39,88 м:  $132/39880=1/302 < 1/300$ ; для ферми 26,8 м:  $47/26800=1/570 < 1/300$ , для ферми 39,88 м:  $104/39880=1/383 < 1/300$ .

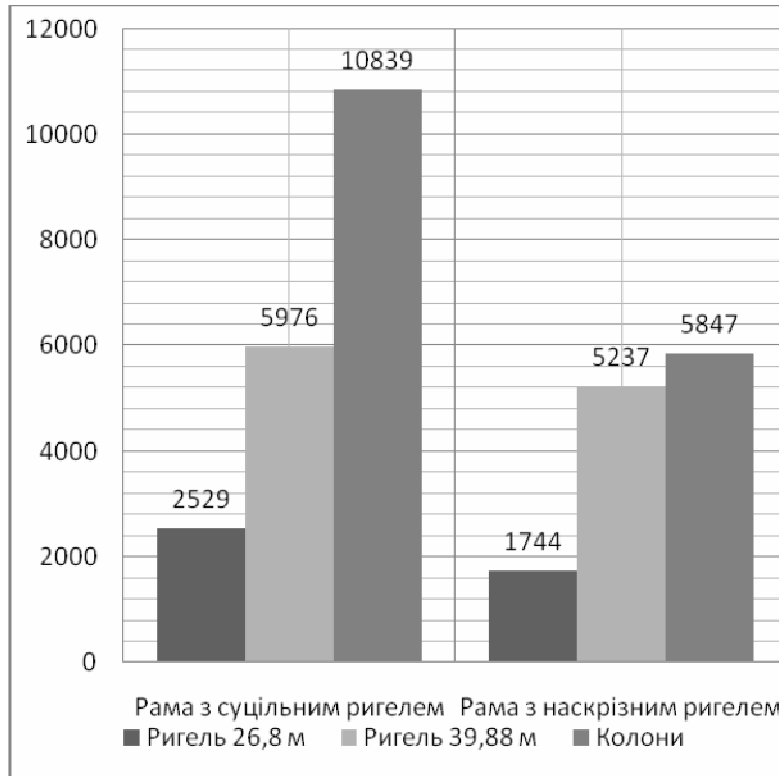
*Аналіз рам на основі фактора економічності (визначення загальної маси рам по двох випадках)*

**Таблиця 3. Витрати сталі за двома варіантами поперечних рам**

Рама з наскрізним ригелем		Рама із суцільним ригелем	
Назва конструкції	Маса, кг	Назва конструкції	Маса, кг
Ригель 26,8м	1744	Ригель 26,8м	2529
Ригель 39,88м	5237	Ригель 39,88м	5976
Колони	5847	Колони	10839
Усього	12828	Усього	19344

Результати розрахунку більш наочно відображає гістограма на рис. 3.

За даними таблиць ми можемо сказати, що поперечна рама з наскрізним ригелем значно економічніша, ніж рама із суцільним ригелем, майже в 1,5 разу. Отже, у складі рами вигідніше використовувати наскрізний ригель. Хоча суцільний ригель теж має ряд переваг, про що було згадано раніше.



**Рис. 3 Гістограма порівняння витрат сталі за двома варіантами (кг)**

*Оптимальна конструкція рами.*

Отримавши результати порівняння двох типів поперечних рам, можна рекомендувати до застосування раму з наскрізним ригелем. Вона є більш раціональною з точки зору внутрішніх зусиль, переміщень та ваги рами. Вага оптимальної рами становить 12828 кг.

За необхідності побудови рами із суцільним ригелем необхідно дотримуватися таких правил, щоб досягти максимально раціональних результатів:

- застосування полігонального обрису рам або спеціальних статичних схем, які б дозволили зменшити зусилля та деформації в конструкціях;
- використовувати шарнірне спирання рам на фундаменти, що дозволяє зменшити вплив переміщень фундаментів на зусилля в рамах і затрати на самі фундаменти;
- застосування затяжок для сприйняття горизонтального розпору в рамах від вертикальних навантажень;
- застосування попереднього напруження і регулювання зусиль;
- оптимальний вибір сталі для рамних конструкцій, прогонів покриття, фахверка і т.д.



**Висновки.** На основі аналізу сучасних типових конструкцій рам було вибрано геометричні параметри рами спортивного комплексу для її розрахунку і подальшого аналізу. Виконано порівняння двох варіантів рам. У результаті обрано більш раціональний варіант – раму з наскрізним ригелем. З точки зору внутрішніх зусиль у наскрізному ригелі поперечної рами відсутні згинальні моменти, а значення поздовжніх сил мають незначні перевищення. З точки зору переміщень більш вдалою для експлуатації також виявилась рама з фермовим покриттям (різниця близько 20%), а це є досить важливим фактором для спортивно-видовищних будівель. Упровадження саме цього типу рами в будівництво замість рами із суцільним ригелем дає значну економію на вартості рами (45%) з точки зору витрат сталі при збереженні повної функціональності конструкції. Але для більш об'єктивного вибору оптимального варіанта необхідно виконати порівняння поперечної рами з різними типами ферм, різною будівельною висотою, а також рам із суцільностінчастими конструкціями змінного перерізу.

#### *Література*

1. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
2. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96с.
3. Здания с каркасом из стальных рам переменно сечения (расчет, проектирование, строительство. / В.В. Катюшин – М.: Стройиздат, 2005. – с. 24 – 29.
4. Металеві конструкції. / О.О. Нілов, В.О. Пермяков – К.: Сталь, 2010. – 393с.
5. Технічна діагностика металевих рам змінного двотаврового перерізу каркаса спортивного комплексу / В.Ю. Алпатов, О.В. Соловйов, І.С. Холопов / Самарський державний архітектурно-будівельний університет, 2009. – С.40 – 46.
6. Оптимальне проектування металевих конструкцій на сучасному етапі (огляд праць) / І.Д. Пелешко, В.В. Юрченко / Національний університет «Львівська політехніка», 2009, – С.14 – 21.
7. Металеві конструкції. /Ф.Є. Клименко, В.М. Барабаш, Л.І. Стороженко – Л.: Видавництво «Світ», 2002. – 210 с.

*Надійшла до редакції 16.10.2013*

*© М.В. Бібік, В.М. Бібік, К.Г. Бжовська, М.В. Лавренко,*