



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

№1, ТОМ 15 (2009) 5-12

УДК 624.014

(09)-0177-0

ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТРИШАРНІРНИХ РАМ КАРКАСІВ З ЕЛЕМЕНТАМИ ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ

В.О. Пермяков, О.Б. Глітін

*Київський національний університет будівництва та архітектури,
31, просп. Повітрофлотський, 03680, з. Київ, Україна.*

E-mail: glitin@ukr.net

Отримана 20 жовтня 2008; прийнята 23 січня 2009.

Анотація. У статті надано поради щодо застосування методів оптимізації при реальному проектуванні сталевих каркасів будівель універсального призначення, що складаються з трьохшарнірних рам, виконаних з елементів змінної по довжині жорсткості. Ці поради стосуються: визначення кількості дискретних частин, якими апроксимується елемент змінної жорсткості; визначення оптимального кута нахилу напівригеля та співвідношення висоти стінки на початку та кінці елемента; раціонального розміщення в'язів, влаштованих з площини поперечної рами. Відповіді на ці питання були отримані в результаті числових та експериментальних досліджень та реалізовані у вигляді графіків. Пошук оптимальних параметрів плоских рам з елементами змінної жорсткості виконувався на базі узагальненої задачі оптимального проектування та за допомогою програмного забезпечення, яке реалізує градієнтні методи. При цьому пошук оптимальних параметрів виконувався у неперервному просторі змінних проектування.

Ключові слова: оптимальне проектування, стержневі конструкції, дискретні частини, елемент змінної жорсткості.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРЕХШАРНИРНЫХ РАМ КАРКАСОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ

В.А. Пермяков, В.А. Глитин

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
31, просп. Воздухофлотский, 03680, з. Киев, Украина.*

E-mail: glitin@ukr.net

Получена 20 октября 2008; принята 23 января 2009.

Аннотация. В статье приведены рекомендации по применению методов оптимизации при реальном проектировании стальных каркасов зданий универсального назначения, которые состоят из трехшарнирных рам, выполненных из элементов переменной по длине жесткости. Эти рекомендации касаются: определения количества дискретных частей, которыми апроксимируется элемент переменной жесткости; определения оптимального угла наклона полуригеля и соотношения высоты стенки в начале и в конце элемента; рационального размещения связей, устроенных из плоскости поперечной рамы. Ответы на эти вопросы были получены в результате численных и экспериментальных исследований и реализованы в виде графиков. Поиск оптимальных параметров плоских рам с элементами переменной жесткости выполнялся на базе обобщенной задачи оптимального проектирования и с помощью

программного забезпечення, которое реализует градиентные методы. При этом поиск оптимальных решений происходил в непрерывном пространстве переменных проектирования.

Ключевые слова: оптимальное проектирование, стержневые конструкции, дискретные части, элемент переменной жесткости.

OPTIMUM DESIGN OF PORTAL STEEL FRAMES WITH BEARING MEMBERS OF A VARIABLE STIFFNESS ACCORDING TO THE LENGTH

Volodymyr O. Permyakov, Olexandr B. Glitin

Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture,

31, Povitroflotskyj avenue, 03680, Kyiv-037, Ukraine.

E-mail: www.glitin@ukr.net

Received 20 October 2008; accepted 23 January 2009

Abstract. This article is devoted to the problem of optimum design of portal steel frames with bearing I-members of a variable stiffness according to the length. Design recommendations for this kind of portal steel frames were developed and presented in the article. Numerical experiments and testing of steel portal frames were executed. Numerical researches were based on the parametrical optimization model which was presented as a nonlinear programming task. Optimal geometrical and cross-sectional parameters of steel portal frames were obtained using the software which realizes searching gradient methods using gradient projection method. These recommendations include a definition of discrete element numbers which are used to approximate members with a variable stiffness according to the length, to calculate an optimum value of a roof slope, to define an optimum ratio of a wall height at the beginning and at the end of the structural member as well as an optimum configuration of a horizontal bracing system in the roof and a vertical bracing system between columns.

Keywords: optimum design, steel frames, discrete elements, members with a variable stiffness according to the length.

Вступ

Під час проектування поперечних рам каркасів будівель універсального призначення [13, 15], що складаються зі стержнів змінної по довжині жорсткості (рис. 1), виникає ряд питань, пов'язаних з особливостями цих конструкцій [3]. При статичному розрахунку рам з елементами змінної жорсткості перш за все виникає питання про необхідну кількість дискретних частин (скінчених елементів), на які необхідно розбивати стояк та напівригеля рами.

Точніше, необхідно знати мінімальну кількість скінчених елементів, яка б дозволила без значного збільшення трудомісткості обчислень отримати достовірний результат. Також постають питання про оптимальний кут нахилу напівригеля до горизонтальної осі, якщо вплив огорожуючих матеріалів не суттєвий, раціональний крок в'язів із площини рами та співвідношення жорсткостей змінного елемента рами (стояка, напівригеля) на його початку

та в кінці. Відповіді на ці питання були отримані в результаті числових та експериментальних досліджень [2]. Пошук оптимальних параметрів плоских рам з елементами змінної жорсткості виконувався на базі узагальненої задачі оптимального проектування, сформульованої в [9, 16], за допомогою програмного забезпечення¹ [7], яке реалізує градієнтні методи [6, 8].

Визначення кількості дискретних частин, на які треба розбивати елементи змінної жорсткості

Звертає на себе увагу той факт, що характеристики рами (маса конструкції, кут нахилу напівригеля, розміри поперечних перерізів стояка та напівригеля) різко змінюються при переході від 2-х до 4-х дискретних частин. При переході

¹ www.optimisation.com.ua

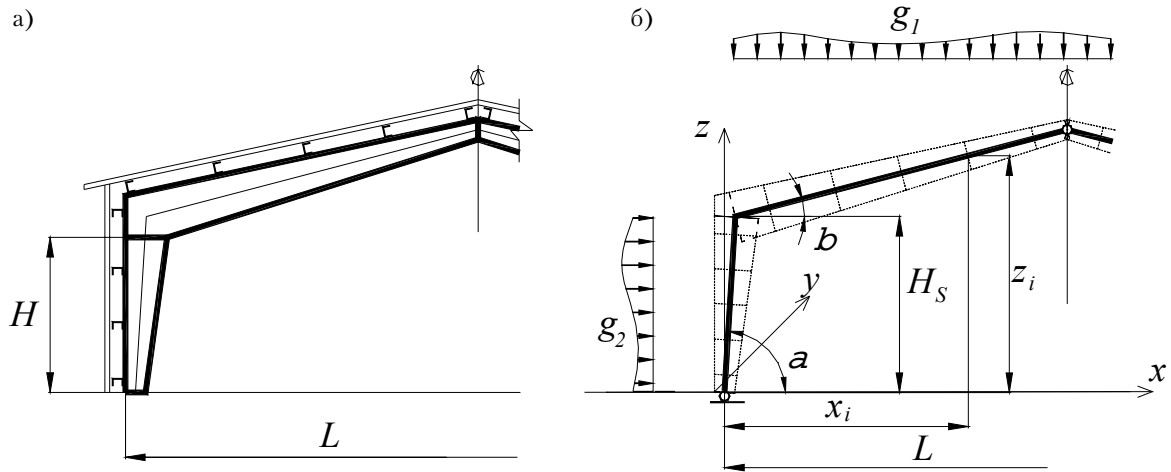


Рис. 1. Рама з елементами змінної жорсткості: а — конструктивна схема; б — розрахункова схема.

до більшої кількості скінчених елементів значення характеристик рами стабілізуються, тобто змінюються в межах, що не перевищує 2%. Дослідження проводилися на поперечних рамах, габарити яких варіювалися у широкому діапазоні співвідношень висоти рами до її прольоту: $H_s / L = 0,066 \dots 1,333$.

У всіх задачах поперечні рами завантажувались рівномірно розподіленим навантаженням від власної ваги, від ваги снігового покриву, прикладеного вздовж всього прольоту рами та на його половині, а також від тиску вітру, спрямованого до лівого або до правого стояка рами. Розрахункові зусилля, які включались до системи обмежень, обирались як максимальні, що виникають від розрахункових комбінацій навантажень. Система обмежень в кожній задачі, крім обумовлених випадків, забезпечувала виконання усіх нормативних вимог [4, 5, 12, 14]. Крім того, перевірка стійкості позацентрово-стиснутих елементів змінної жорсткості велась за [1, 10].

На рис. 2 показані залежності оптимальної маси рами, кута нахилу напівригеля та розмірів перерізів елементів рами у карнизному вузлі від прийнятої кількості дискретних частин, які обчислені так: 2 – і стояк, і напівригель представлені у вигляді двох скінчених елементів; 4 – кожний із елементів рами представлений за допомогою 4-х дискретних частин і т. п.

Таким чином, можна рекомендувати представляти елементи поперечних рам зі змінними розмірами поперечних перерізів за допомо-

гою як мінімум 4-х дискретних частин, кожна з яких має постійну по довжині жорсткість.

Визначення оптимального кута нахилу ригеля рами

Під час досліджень розглянуті варіанти проектних рішень рам, що відрізняються габаритними розмірами, в яких при різних прольотах ($L=24, 36,0, 48,0$ та $60,0$ м) висота стояків (до карнизного вузла) змінюється від $0,1L$ до $0,833L$. Поперечні рами шарнірно опираються на фундаменти, спряження елементів рами у карнизному вузлі є шарнірним, а в гребеновому вузлі – жорстке. Пошук оптимальних параметрів рам виконаний від однакових зовнішніх впливів при умові зміни по довжині елементів тільки висот стінок двотаврових перерізів стояків (від $h_{w,op}$ на опорі до $h_{w,k}$ в карнизному вузлі) та напівригелів (від $h_{w,gr}$ в гребені до $h_{w,op}$ в карнизному вузлі). Для кожної рами визначені мінімальні маса та витрати сталі на 1 м^2 площі будівлі, що перекривається (при кроці рам $6,0$ м). Ці дані, а також значення оптимального кута нахилу осі стояка наведені в [2, 11]. Необхідно відмітити, що розміри поперечних перерізів вказані без врахування вимог сортаменту та без дотримання умови рівності висот перерізів стояка та напівригеля в карнизному вузлі рами.

Якщо не враховувати вимоги забезпечення ухилу покрівлі відповідно до її складу, тоді при співвідношенні висоти рами H_s до її прольоту

L більше 0,6 (рис. 3) оптимальне значення кута нахилу напівригеля складає менше 1° , тобто ригель доцільно проектувати горизонтальним. Із збільшенням висоти стояка оптимальне значення кута нахилу зростає до 10° (при $H_s/L = 0,6\dots 0,4$) та при $H_s/L < 0,4$ досягає $12\dots 15^\circ$.

Рациональність зроблених рекомендацій по вибору кута нахилу напівригеля рами підтверджується двома прикладами проектування двох рам ($L=36,0\text{м}$, $H_s=8,0\text{м}$, $I_{\text{опт}}=11^\circ 30'$) з кутами нахилу I , що дорівнюють 16° та 6° . Маса цих рам порівняно з оптимальним варіантом зросла відповідно на 1,7 та 12,2 % [2, 11].

Кут нахилу осі стояка до горизонталі у всіх розглянутих випадках коливається в досить обмежених границях (від $85,0^\circ$ до $89,0^\circ$) та практично визначається розмірами опорного (на рівні верха фундаменту) та карнизного поперечних перерізів стояка.

Вплив розкріплення елементів рам із площини

Процес компоновки каркаса будівлі включає і розробку схеми в'язів по покриттю та між стояками. Відстані між вузлами закріплення елементів в'язів, що приєднуються до поперечних рам, визначають розрахункові довжини стояків та ригелів із площини дії моменту. Ці відстані при оптимізаційному розрахунку розглядаються як задані, впливаючи на кінцевий результат.

Розглядалися результати проектування чотирьох схем поперечних рам розмірами $12\times 4\text{ м}$, $12\times 16\text{ м}$, $60\times 4\text{ м}$ та $60\times 16\text{ м}$ з різною кількістю в'язей (табл. 3.5). При цьому приймалась мінімальна кількість в'язей вздовж стояків, яка дорівнює одиниці (розпірка в карнизному вузлі), а вздовж напівригелів – 2 (в карнизному та гребеневому вузлах). Максимальна кількість в'язей визначалась під час розрахунку

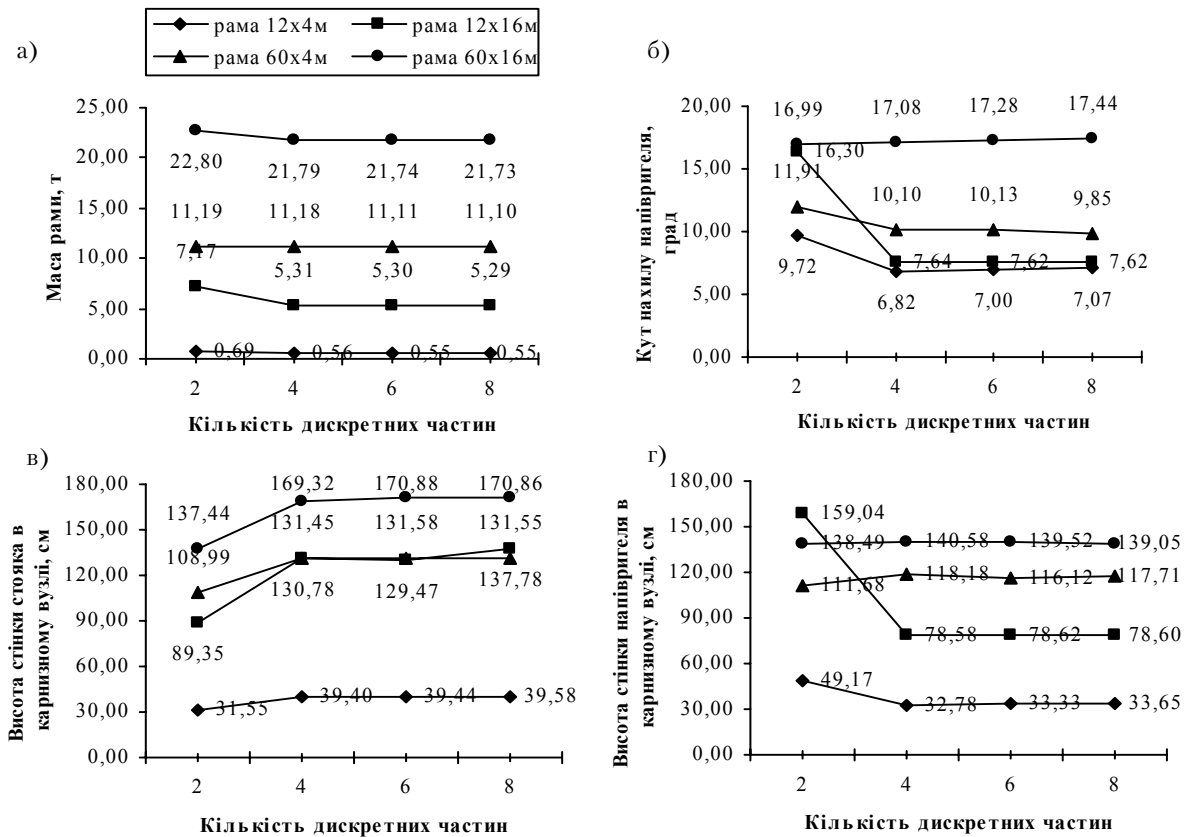


Рис. 2. Оптимальні параметри поперечної рами залежно від кількості скінчених елементів: а – маса рами; б – кут нахилу напівригеля; в – висота стінки стояка в карнизному вузлі; г – висота стінки напівригеля в карнизному вузлі.

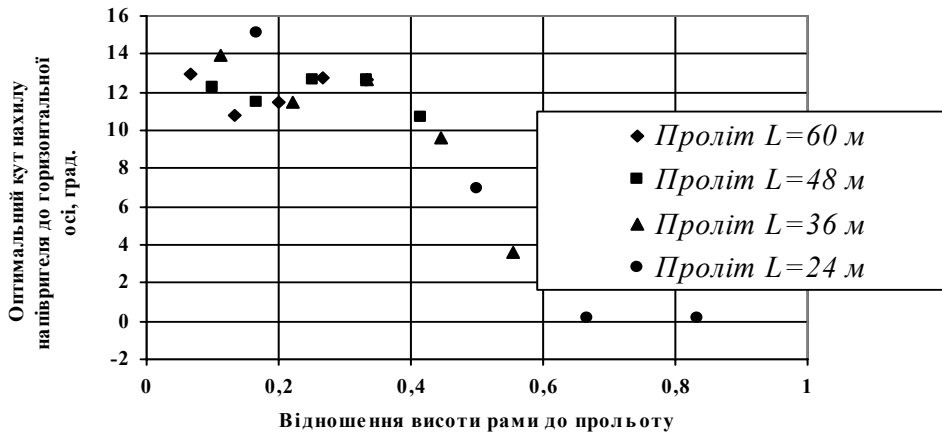


Рис. 3. Оптимальний кут нахилу напівригеля до горизонтальної осі залежно від співвідношення висоти рами до її прольоту.

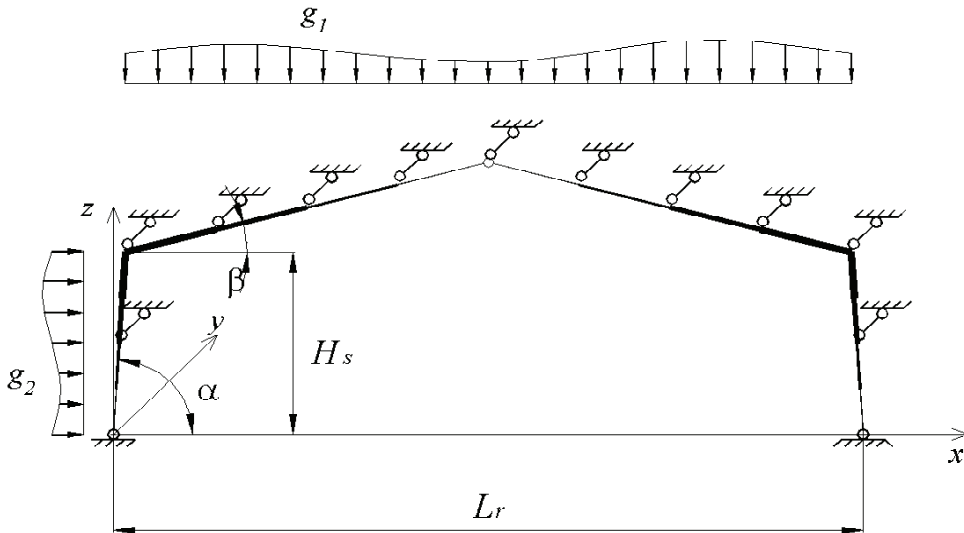


Рис. 4. До визначення раціональної кількості в'язів, влаштованих з площини рами.

ку. Для кожної розглянутої рами поступово збільшувалась кількість в'язей спочатку по стояках, а потім і по напівригелях. Зростання кількості в'язей припинялось за умови, що перевірки стійкості та гнучкості скінчених елементів із площини рами переставали бути активними.

Кількість скінчених елементів, за допомогою яких представлялись стояки та напівригелі, приймалась у залежності від кількості в'язей (вузли кріплення в'язей відповідали координатам кінців скінчених елементів), проте не менше чотирьох. Необхідно зазначити, що у всіх розглянутих задачах з дослідження кроку в'язей з площини змінними по довжині елементів

приймались лише висоти стінок двотаврів. Решта розмірів перерізів приймалися постійними по довжині стояків та напівригелів.

Отримані результати дозволяють прослідкувати метаморфозу розмірів поперечних перерізів залежно від розрахункових довжин елементів рам із площини. Особливо цей процес проявляється в ригелях рам прольотом 60,0 м, для яких ширина полук поперечних перерізів змінюється практично вдвічі. Звертає на себе увагу той факт, що у всіх розглянутих випадках збільшення кількості в'язей забезпечує зниження витрат сталі на поперечну раму, при чому

економія матеріалу може досягати 32% [2]. І це незважаючи на те, що враховуються і витрати металу на елементи в'язей.

На питання «Скільки ж потрібно в'язей і яка оптимальна відстань між ними?» вряд чи можна отримати однозначну відповідь. «Оптимальна» відстань між вузлами кріплення в'язей вздовж стояків у розглянутих прикладах коливається в межах від 2,0 до 5,33 м, що відповідає діапазону від $0,25H_s$ до H_s , а для ригелів від 2,0 м до 6,0 м або від $0,1L$ до $0,25L$. Отримані результати не можна сприймати як деякі рекомендації. Вони свідчать лише про те, що кінцеве рішення буде залежати від конкретних умов проектування або від конструктивних вимог, що висуваються до конкретного об'єкту будівництва.

Співвідношення висоти стінок на початку та на кінці елементів змінної жорсткості

В результаті виконаних досліджень такі співвідношення зведені до двох графіків, зображених на рис. 5. За цими графіками видно, що співвідношення висоти стінки в колоні на початку та на кінці стержня складає у більшості випадків від $1/3 \dots 1/2$. Для напівригеля ці межі $1/2 \dots 3/4$. Цими графіками можна користуватися на етапі попереднього розрахунку рам з елементами змінної жорсткості.

Аналіз витрат сталі на 1 м^2 площі будівлі, що перекривається, з врахуванням прийнятого кроку рам, який дорівнює 6,0 м, дозволяє зробити тривіальний висновок про зростання цього показника із ростом висоти стояка та прольоту рами. Але звертає на себе увагу той факт,

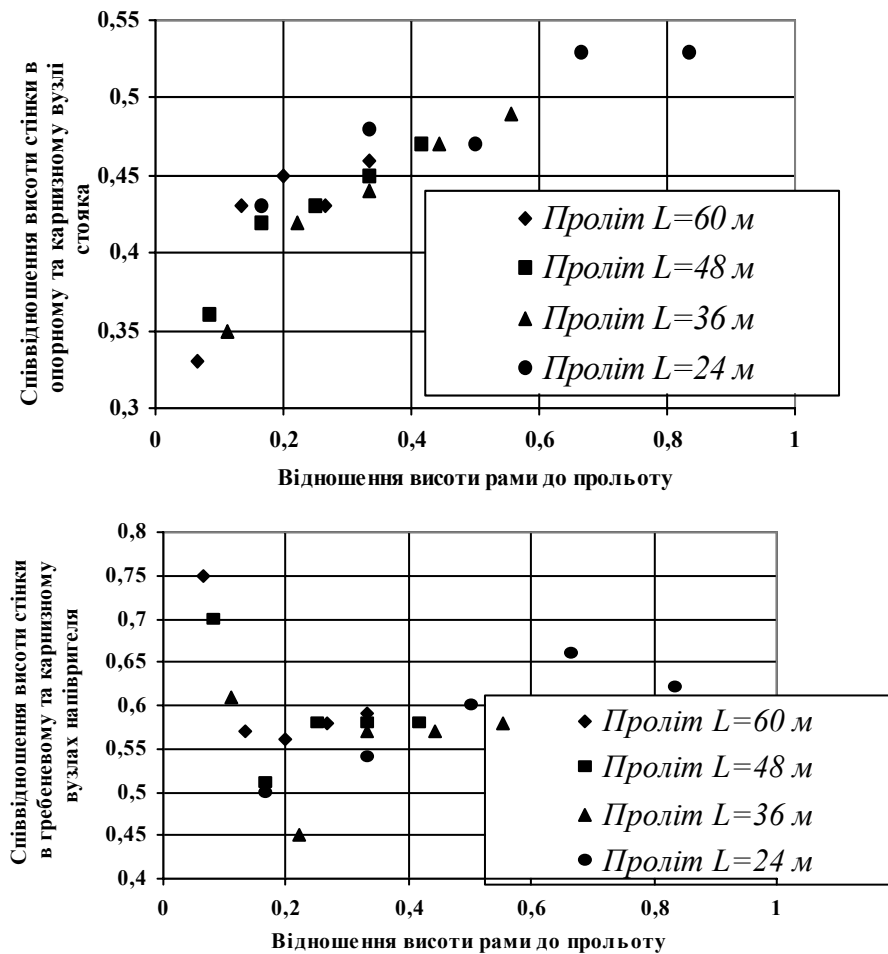


Рис. 5. Співвідношення висоти стінок на початку та на кінці елементів змінної жорсткості.

що при визначених габаритах поперечної рами (при $L=24\text{м}$ та $H_s/L<0,5$; при $L=36\text{м}$ та $H_s/L<0,3$; при $L=48\text{м}$ та $H_s/L<0,15$) абсолютні показники витрат сталі не перевищують 30кг/м^2 [11], що дозволяє рамам із суцільною стінкою успішно конкурувати з наскрізними конструкціями не тільки за показниками трудомісткості виготовлення, а й за витратами матеріалу.

Наскрізні ригелі як такі, що характеризуються більшою жорсткістю порівняно із суцільностінчастими балками, стають раціональними при більших прольотах та висоті рам.

Література

1. Бильк С. И. Коэффициенты расчетной длины элементов переменного сечения одноэтажных рам // Совершенствование сварных металлических конструкций / Под ред. Жербина М. М.; АН Украины, ин-т электросварки им. Патона Е. О. – К.: Наукова думка, 1992. – С. 59-62.
2. Глітін О. Б. Оптимізація поперечних рам каркасів з елементами змінної жорсткості: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Київ, 2008.
3. Глітін О. Б., Пермяков В. О. Оптимізація поперечної рами з елементами змінної жорсткості // Вісник ДонНАБА Будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Вип. 2 (39). – Т. 2. – Макіївка, 2003. – С.159-164.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування // ВАТ «Український науково-дослідний та проектний інститут сталевих конструкцій ім. В. М. Шимановського», Донбаська державна академія будівництва та архітектури, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Науково-виробниче товариство СКАД СОФТ. – К.: Міністерство України, 2006. – 60 с.
5. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогни і переміщення. Вимоги проектування // ВАТ «Український науково-дослідний та проектний інститут сталевих конструкцій ім. В. М. Шимановського», Науково-виробниче товариство СКАД СОФТ. – К.: Міністерство України, 2006. – 10 с.
6. Методы оптимизации в строительной механике. Учеб. пособие / Гуляев В. И., Баженов В. А., Кошкин В. Л. – К.: УМК ВО, 1988. – 192 с.
7. Пелешко І. Д., Юрченко В. В. Програма для оптимізації стрижневих металевих систем // VI Міжнародна наукова конференція “Актуальні проблеми будівництва та інженерії довкілля” Львів-Кошице-Жешув: Збірник матеріалів конференції. – Ч.1 – Будівництво. – Львів: Вид-во НУЛП, 2001. – С. 176-182.
8. Пелешко І. Д., Юрченко В. В. Про удосконалення одного з методів оптимізації сталевих конструкцій // Вісник державного університету “Львівська політехніка”. Теорія і практика будівництва. № 360, 1998 р. – С. 166-174.
9. Пермяков В. А. Совершенствование стальных стержневых конструкций на основе решения обобщенной задачи оптимального проектирования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени докт. техн. наук. – Киев. 1993.
10. Пермяков В. А., Бильк С. И. Совершенствование расчета на устойчивость и прочность двутавров с переменной высотой стенки, как элементов стальных каркасов зданий универсального назначения // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных, пластмассовых конструкций в строительстве и на транспорте: Сборник научных трудов.– Самара, ООО «СамЛЮКС», 2005. – 370 с.
11. Пермяков В. А., Перельмутер А.В., Юрченко В.В. Оптимальное проектирование стальных стержневых конструкций. – К.: ТОВ «Издательство «Сталь», 2008. – 538 с.: ил.
12. Пособие по расчету и конструированию сварных конструкций (к главе СНиП II-23-81)/ ЦНИИСК им. Кучеренко. - М.: Стройиздат, 1984. - 40 с.
13. Рамні каркаси з економічних профілів / М. М. - Жербін, П. Є. Бабічев, Л. Є. Дробязко, С. С. - Онісін. – Сільськогосподарське будівництво, 1976, №3. – С. 10-11.
14. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. – М., ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
15. Трофимов В. И., Каминский А. М. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений. Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 576 с.
16. Трофимович В. В., Пермяков В. А. Оптимизация металлических конструкций. – К.: Вища школа, 1983. – 200 с.

Пермяков Володимир Олександрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри металевих і дерев'яних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури. Наукові інтереси: удосконалення конструктивних форм плоских і просторових конструкцій, проектування морських стаціонарних платформ, сталевих опор ліній електропередач, реконструкція і підсилення будівель і споруд.

Глітін Олександр Борисович, доцент кафедри “Металеві і дерев'яні конструкції” Київського національного університету будівництва та архітектури. Наукові інтереси: оптимальне проектування стержневих конструкцій, тонкостінні стержневі конструкції, сітчасті оболонки подвійної кривизни.

Пермяков Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой металлических и деревянных конструкций Киевского национального университета строительства и архитектуры. Научные интересы: усовершенствование конструктивных форм плоских и пространственных конструкций, проектирование морских стационарных платформ, стальных опор линии электропередач, реконструкция и усиление конструкций и сооружений.

Глитин Александр Борисович, доцент кафедры “Металлические и деревянные конструкции” Киевского национального университета строительства и архитектуры. Научные интересы: оптимальное проектирование стержневых конструкций, тонкостенные стержневые конструкции, сетчатые оболочки двоякой кривизны.

Volodymyr O. Permyakov, Dr. Sc. Eng., professor, Head of the Department of Steel and Wooden Structures of Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improvement of structural forms of plain and spatial structures, design of sea stationary platforms, steel power line towers, reconstruction and encasement of structures.

Glitin Oleksandr Borysovich is an Associate Professor of the Department of Steel and Wooden Structures of Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture. His research interests include optimum design of steel frame systems, thin-walled steel members and frame systems, meshed steel shells of bi-curved.