

Расчет температурного режима пожара и расчет температурных полей в конструкциях выполнен на программном комплексе, разработанном в НАПКС [3].

Температурные режимы обследованных объектов представлены на рис. 1.

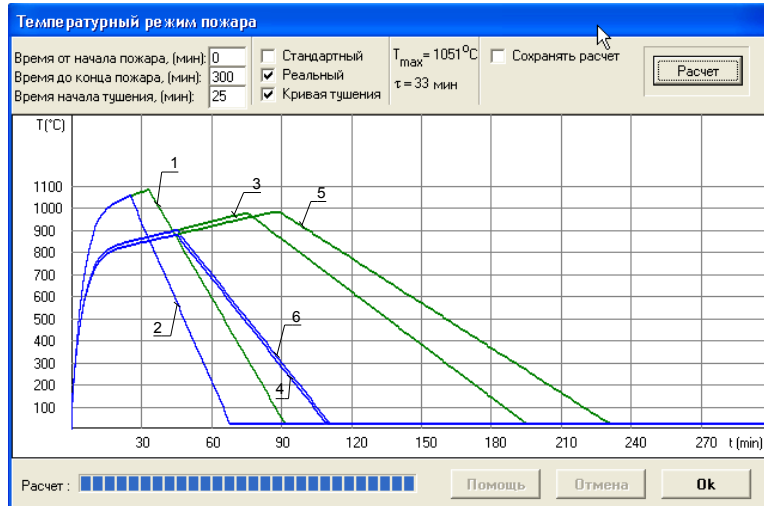


Рис. 1. Температурные режимы пожаров в помещении с учетом нисходящей ветви пожаротушения:

1 - кривая реального режима пожара квартиры; 3, 5- кривые реальных режимов пожара торгового зала с бытовой техникой в центрах Foxmart и Foxtrot соответственно; 2, 4, 6- графики пожаротушения этих объектов.

В результате анализа температурных режимов пожара в жилых и общественных зданиях можно сделать следующие выводы:

- наибольшие температуры, достигаемые в конструкциях при воздействиях пожара, возникают в помещениях зданий с пожарной нагрузкой в диапазоне $100-300 \text{ Мкал/м}^2$ с большими параметрами проемности;

- в помещениях большой площади при небольших параметрах проемности (торговые залы) температурные режимы в меньшей степени регулируются пожаротушением и значительного прогрева железобетонных конструкций не происходит.

- использование распределения температур по сечению конструкции при оценке огнестойкости, без учета режима пожаротушения приводит к занижению остаточной прочности конструкции поврежденных пожаром.

На основе результатов расчета температурных полей производят анализ остаточной прочности изгибаемых железобетонных элементов. Расчетные значения механических свойств материалов принимают с учетом его температуры, а расчет остаточной прочности выполняют в соответствии с методиками и разработками НАПКС с использованием аналитических зависимостей $\sigma_b - \varepsilon_b$ [4].

ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бартелеми Б., Крюппа Ж. Огнестойкость строительных конструкций / Пер. с франц. М.В. Предтеченского; Под ред. В. В. Жукова. - М.: Стройиздат, 1985. - 216 с.

2. Белавский В.А. Анализ температурных режимов реальных пожаров в жилых и общественных зданиях /Сб. науч. трудов НАПКС. Выпуск 28./ – Симферополь: НАПКС, 2009. 13-19с

3. Белавский В.А., Линченко Ю.П., Алексеенко В.Н. Программный комплекс дифференцированной оценки огнестойкости железобетонных конструкций FRED /Сб. науч. трудов НАПКС. Выпуск 23./ – Симферополь: НАПКС, 2008. 12-19с

4. Белавский В.А. Расчет прочности изгибаемых железобетонных конструкций при пожаре с использованием аналитических зависимостей $\sigma_{bte} - \varepsilon_{bte}$ //Строительство и техногенная безопасность/ Сб. науч. трудов КАПКС. вып. 7 — Симферополь: Крымская академия природоохранного и курортного строительства, 2002г. -306с.: ил., с. 23 - 26.

УДК 624.014.2 (519.168)

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ КАРДИНАЛЬНОГО ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ФЕРМ З ГНУТОЗВАРНИХ ЗАМКНЕНИХ ПРОФІЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

*м.т.н., ас., асп. Білик А.С.

Київський Національний Університет будівництва і архітектури, кафедра металевих і дерев'яних конструкцій

Постановка проблеми. На першому рівні оптимізації сталевих стержневих конструкцій знаходиться варіантне проектування або проектування на передпроектній стадії [11]. На даній стадії розглядаються декілька варіантів майбутньої конструкції, що можуть відрізнитися між собою топологією, абрисами, геометрією, типами поперечних перерізів елементів та розрахунковою схемою. Спільними при цьому для всіх варіантів є якісні та кількісні висхідні умови, закладені у технічному завданні на проектування, а також головні геометричні параметри споруди та обмеження (прольот, розміри окремих елементів, граничні прогини тощо). Обґрунтований вибір рішення конструкції можливий тільки на основі точного техніко-економічного аналізу кожного з варіантів, що розглядаються, а самі варіанти мають бути оптимальними відносно заданих властивостей і об'єктивних умов. В зв'язку із цим актуальними питаннями розвитку оптимального проектування уявляються розробка методик вибору оптимальних рішень сталевих стержневих конструкцій та систем автоматизованого проектування, що дозволяли б реалізувати оптимальний вибір серед скінчено великої кількості варіантів.

Аналіз останніх досліджень. А.І. Виноградовим було вперше визначено [6], що системи, з яких ми обираємо рішення зворотної задачі проектування – це сукупність конструкцій із однаковим абрисом осей. Таким чином, для

стержневих конструкцій було сформульовано об'єкт неугальненої задачі оптимального проектування - множина усіх можливих рішень конструкцій із заданим абрисом осей та основна задача проектування - задача вибору найкращого варіанту з цієї множини [6]. Вирішення задачі оптимального вибору на стадії варіантного проектування навіть при визначених умовах та із задовільною точністю пов'язане із потребою попереднього розрахунку, конструювання та послідуочого обчислення техніко-економічних показників для кожної конструкції з множини можливих рішень [9]. В той же час функції, які точно описують техніко-економічні критерії порівняння альтернатив можуть бути класифіковані [13] як статичні, не випуклі, полімодальні, нелінійні, дискретні, недиференційовані та частково сепарабельні. Функції часткових і приведених критеріїв порівняння при цьому є алгоритмічними. Окрім того, для альтернатив з відмінною топологією, абрисами, геометрією, типами поперечних перерізів елементів та розрахунковою схемою, функції часткових критеріїв порівняння залежать від різних змінних, які не можуть бути приведені одна до одної. На даний час знайти глобальний оптимум таких цільових функцій існуючими аналітичними методами не уявляється можливим [13], [12].

Постановка задачі. Задача вибору оптимального рішення сталеві стержневої конструкції на стадії варіантного проектування може бути визначена як **задача багатокритеріального кардинального вибору альтернатив з різноважливими критеріями із множини допустимих рішень при вирішенні слабкоструктурованої проблеми з чітко заданими розподіленими параметрами. Тип задачі вибору - разовий довільний індивідуальний вибір у визначених умовах.** Для вирішення задачі визначеного вище типу найбільш ефективними є обчислювальні методи вибору оптимальних проектних рішень [5], [8]. Обчислювальні методи вибору ґрунтуються на автоматизованому нормативному обрахунку критеріїв якості для всіх альтернатив з простору допустимих рішень, із послідуочим здійсненням відбору із них найбільш прийнятних. Ґрунтовний автоматизований аналіз кожного варіанту дозволяє здійснити на стадії варіантного проектування економічний та ефективний вибір конструкції, що задовольняє поставленим вимогам. Вирішення задачі вибору здійснюється в рамках нормативної моделі – усі прийняття рішень відповідають діючим нормам проектування, які формалізуються без спрощень «as is».

Вклад основного матеріалу дослідження. В рамках дисертаційної роботи автора була розроблена комплексна методика вибору оптимальних рішень стержневих конструкцій [1], [2] та реалізована експертна система вибору [3], [4].

Багатокритеріальна модель прийняття рішень для задачі вибору оптимального конструктивного рішення сталеві стержневої конструкції може бути представлена у наступному вигляді [10]:

$$\langle t, S, K, X, f, r \rangle \quad (1)$$

де t - постановка (тип) задачі; S - множина допустимих рішень; K - множина критеріїв; X - множина шкал критеріїв; f - відображення множини

допустимих рішень у множину векторних оцінок; r - вирішувальне правило. Постановка задачі відповідає цілям особи, що приймає рішення. В нашому випадку загальною постановкою t є пошук оптимального рішення. Множина

S являє собою сукупність рішень, які задовольняють певним обмеженням і розглядаються як можливі способи досягнення поставленої цілі. Для поставленої задачі множина допустимих рішень (альтернатив) задана апіорно. В рамках реалізованої експертної системи, підмножинами альтернатив є ферми з паралельними або з трапецієвидними поясами з поперечними перерізами елементів з рівнобічних прокатних кутиків з шарнірними вузлами а також ферми з паралельними поясами з поперечними перерізами елементів з гнutoзварних замкнених профілів прямокутного і квадратного перерізу з жорстким сполученням елементів у вузлах.

Зокрема для ферм із ГЗП були розглянуті основні положення та особливості розрахунку та узгодження конструктивних вимог, проведено моделювання та визначення параметрів вузлів з можливим ексцентриситетом внаслідок розцентрування осей. Отримано параметричні залежності, що дозволяють визначити ексцентриситети від розцентрування осей елементів а також залежності, що дозволяють визначити зміну кутів нахилу елементів решітки при дотриманні заданої міжоскової відстані. Показано що проектування ферм із ГЗП є ітеративною процедурою, яка вимагає перерахунку згинальних моментів від розцентрування всієї та зміни жорсткості елементів, що сходяться у вузлах.

Також формалізовані перевірки міцності вузлів ферм з гнuto зварних замкнених профілів із міжосковою відстанню. Методику розрахунку адаптовано до реальної роботи та формалізації процесу проектування ферм у рамках експертної системи оптимального вибору. Показано доцільність використання вузлів із приєднанням елементів решітки на поясах внапусток [15, 16], що дозволяє повністю уникнути згинальних моментів від розцентрування і підвищити ефективність конструкції. При невиконанні перевірок у вузлах автоматизовано встановлюються елементи підсилення.

У кожному підмножині альтернатив входять конструкції, що відрізняються топологією (кількістю вузлів та елементів) та геометрією (типом решітки, координатами вузлів), але структуровані відносно керуючих параметрів порівняння (в залежності від висхідних умов до вибору розглядаються конструкції з відповідними головними розмірами). Порівняння може відбуватися як між конструкціями всередині однієї підмножини, так і між конструкціями різних підмножин. Оскільки основною властивістю експертних систем є накопичення досвіду, по мірі вирішення все нових і нових задач вибору користувачем, база моделей конструкцій збільшується.

Критеріями K_1, K_2, \dots, K_m є показники якості, спільні для всіх допустимих рішень і презентабельно характеризують цінність кожного з них. Такими критеріями є кількісні показники якості конструкції на різних рівнях аналізу: K_1 - маса ферми в стадії КМД, K_2 - собівартість у ділі однієї ферми,

K_3 - розширена собівартість у ділі блоку ферм покриття з урахуванням другорядних та огорожувальних конструкцій, K_4 - приведені витрати на блок ферм покриття з урахуванням експлуатаційних витрат. Критерій якості, за яким оцінюється кожна конструкція при виборі оптимальної альтернативи, обирається особою, що проводить порівняння.

Для визначення зусиль у елементах конструкції на кожному кроці реалізований алгоритм методу скінчених елементів в постановці методу переміщень. Оптимізація поперечних перерізів здійснюється на дискретних множинах реальних сортаментів профілів, що є в наявності на металобазі. Оптимізація геометрії конструкції здійснюється методом повного перебору (breadth-first process) дискретних значень з допустимої множини, що дозволяє досягти збіжності на алгоритмічних функціях критеріїв вибору. Для обчислення частинних критеріїв була створена інформаційно-аналітична модель кожного типу конструкцій, що включає автоматизоване конструювання та визначення типорозмірів основних і другорядних (фасонки, прокладки тощо) елементів конструкції [1]. Трудомісткість обчислюється поопераційно за показниками норм часу, потрібних для кожного етапу виготовлення, та монтажу конструкції а також другорядних елементів [7]. При аналізі розширеної собівартості окрім конструкцій ферм додатково підбираються в залежності від заданих умов профнастил покрівлі, прогони та в'язі, а також враховуються огороження конструкцій. При аналізі приведених витрат враховуються експлуатаційні витрати, пов'язані із проведенням нормативно-регламентованих ремонтів, а також витрати на опалення блоку ферм покриття для заданих параметрів температурних режимів експлуатації будівлі, характеристик огорожувальних конструкцій та вартості еквіваленту палива (природний газ).

Шкали вартості та маси X мають спільні властивості для всіх альтернатив при оцінці за суперкритерієм у поставленій задачі і є абсолютними (числовими та неперервними), що природно. Кожне рішення оцінюється за шкалою X так, що множині допустимих рішень S ставиться у відповідність множина векторних оцінок у загальній множині допустимих векторних оцінок $A \subseteq Y$ за допомогою відображення $f: S \rightarrow A$. Вирішувальне правило r впорядковує множину A так, що дозволяє висловлювати судження щодо переваг на множині S . При визначенні відображення f на шкалі X , вирішенням задачі вибору є обрання альтернативи:

$$r: S^* = \arg \min_{x \in S} K_0(q_1(x), q_2(x), \dots, q_p(x)) \quad (2)$$

Реалізація експертної системи вибору фактично є задачею створення системи одностадійного автоматизованого проектування, яка вже вирішувалася раніше, зокрема для споруд енергетичного сектору [14]. Для

сталевих ферм рішення задачі одностадійного автоматизованого оптимального проектування виконано вперше.

Приклад. Роботу експертної системи розглянемо на прикладі задачі вибору оптимальної конструкції ферм покриття експлуатованого горючого поверху - пентхаусу висотної будівлі у м. Києві. Приведена розрахункова модель покриття являє собою систему похилених ферм з кроком $b = 1$ м, улаштованих над зимовим садом та басейном на позначці 103..109 м від поверхні землі (умовного нуля). Задача вирішувалася у рамках замовлення організацією-власником із послідуною експлуатацією поверху.

Слід обрати оптимальне конструктивне рішення ферм покриття для заданих умов.

Вихідні дані, закладені у технічному завданні на проектування: Тип абрису ферм заданий: з паралельними поясами; решітка розкісна. Умови експлуатації: можливе перезволоження внаслідок того, що перекриття здійснюється над постійно діючим басейном. Обслуговування покриття здійснюється тільки за допомогою самонесівних риштовань зсередини. Тип поперечних перерізів елементів: решітка з ГЗП квадратного, пояси з ГЗП прямокутного перерізу; нижній і верхній пояси, опорні розкоси уніфіковані.

Задані геометричні параметри: проліт 12м в осях, крайній стаяк розташований вертикально з умов улаштування фахверку. Кут нахилу покрівлі $24,2^{\circ}$. Приміщення опалюване, розрахункова температура повітря у приміщенні $+18$ C⁰, розрахункова температура зовнішнього повітря для холодного періоду року при розрахунку втрат теплоти крізь зовнішні огороження -10 C⁰. Проектний строк експлуатації 60 р.

Навантаження прийняті згідно технічного завдання на проектування та у відповідності до ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи». При цьому корисне навантаження та навантаження від власної ваги конструкцій для збору на ригель прийняте при вирішенні покриття для опалюваної будівлі (рулонна крівля, ізоляційні набірні панелі із ефективним утеплювачем завтовшки 100 мм, профільований настил по прогонам). Розрахунковим сполученням навантажень буде вертикальне навантаження: експлуатаційне розрахункове значення навантаження $q_e^v =$

$$p_e + S_e \cdot 0,95 + W_e \cdot 0,9 \cdot \cos 24,2^{\circ} = 2,09 \text{ кН/м}^2; \text{ граничне розрахункове}$$

$$\text{значення навантаження: } q_u^v = p_u + S_u \cdot 0,95 + W_u \cdot 0,9 \cdot \cos 24,2^{\circ} = 3,16 \text{ кН/м}^2.$$

$$\text{Горизонтальні складові вітрового навантаження } q_e^h = W_e \cdot 0,9 \cdot \sin 24,2^{\circ} = 0,057 \text{ кН/м}^2; q_u^h = W_u \cdot 0,9 \cdot \sin 24,2^{\circ} = 0,027 \text{ кН/м}^2.$$

Формування альтернатив. Оскільки технічним завданням визначено тип абрису та поперечних перерізів, для формування альтернатив використовуватимемо модуль вибору оптимальних рішень ферм з ГЗП, із урахуванням їх конструктивних особливостей. При цьому залучаємо до вибору 6 альтернатив $S = \{x_1; x_2; x_3; x_4; x_5; x_6\}$ з трикутною решіткою, що

мають три топологічні типи (рис. 1, 2, 3), але різняться конструктивними принципами.

Альтернативи $X_1; X_4$ (рис. 1): топологія - 31 елемент, 17 вузлів; крок прогонів 1,645 м; кількість прогонів на блок ферм: 8. Альтернатива X_1 - вузли з міжкосовою відстанню $g = 2\text{см}$; альтернатива X_4 - у вузлах допускається внапусток.

Альтернативи $X_2; X_5$ (рис. 2): топологія - 23 елемента, 13 вузлів; крок прогонів 2,303 м; кількість прогонів на блок ферм: 6. Альтернатива X_2 - вузли з міжкосовою відстанню $g = 2\text{см}$; альтернатива X_5 - у вузлах допускається внапусток.

Альтернативи $X_3; X_6$ (рис. 3): топологія - 15 елементів, 9 вузлів; крок прогонів 3,838 м; кількість прогонів на блок ферм: 4. Альтернатива X_3 - вузли з міжкосовою відстанню $g = 2\text{см}$; альтернатива X_6 - у вузлах допускається внапусток.

Кількість відправних марок для всіх ферм прийнято одна. Кількість в'язей на блок ферм для всіх альтернатив пов'язана із загальним вирішенням покрівлі і дорівнює 7. Всі альтернативи є зовнішньо статично визначеними, мають жорстке сполучення у вузлах.

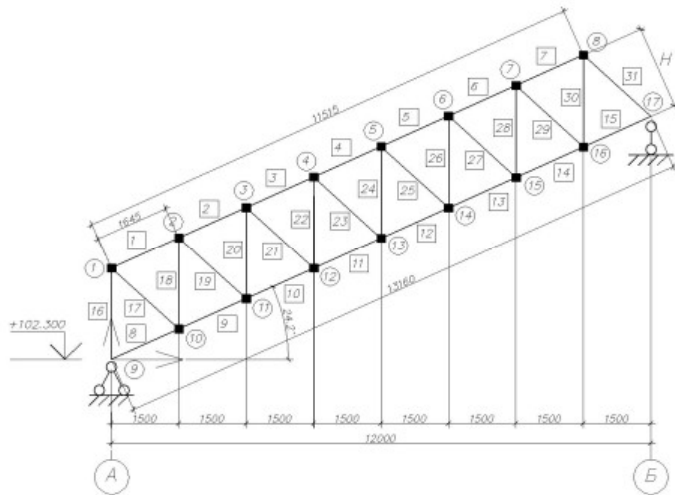


Рис. 1. Геометрична схема альтернатив $X_1; X_4$

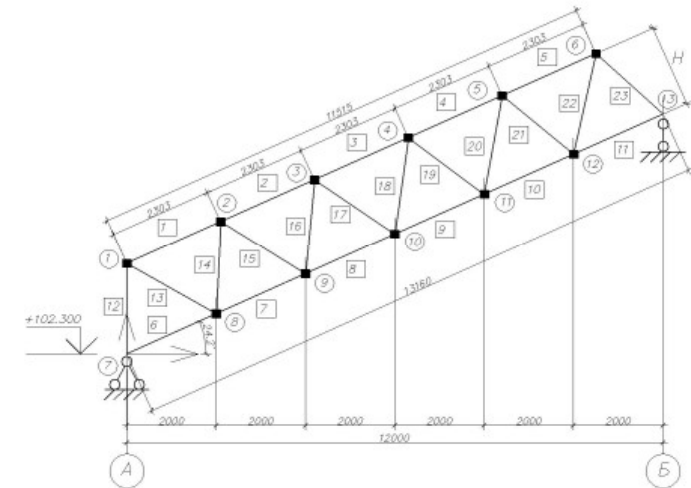


Рис. 2. Геометрична схема альтернатив $X_2; X_5$

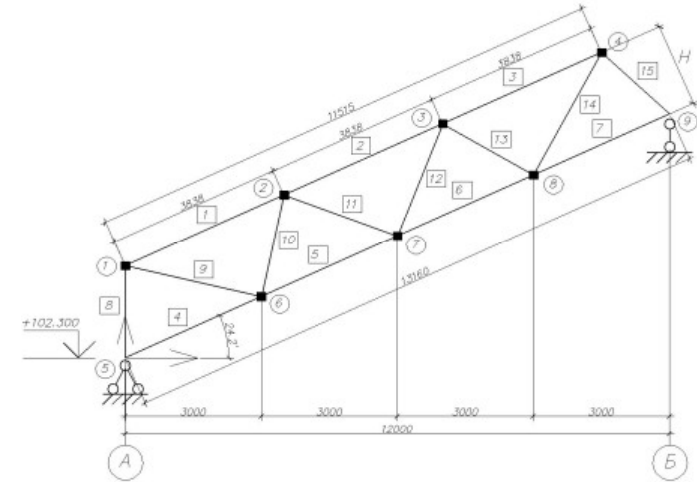


Рис. 3. Геометрична схема альтернатив $X_3; X_6$

Задавання якісних параметрів та початкового розв'язку. Сталь - С235; умови експлуатації – можливе переозволоження; проектний строк експлуатації $T = 60$ р.; тимчасовий опір розриву металу шва $R_{min} = 410$ МПа; катети зварних швів $k_f = 0,3\text{см}$; марка електродів: УОНИ-13/45; $\beta_f = 0,7$; коефіцієнт

умов роботи для неосновних елементів та вузлів $\gamma_c = 1,0$; кількість шарів пофарбування: 2. Нижній і верхній пояси уніфіковані по довжині та між собою. Також уніфікацію мають опорні розкоси. База цін уведена відповідно до прейскурантів, що діяли на момент вирішення задачі оптимального вибору і закупівлі металопрокату організацією-замовником (20.07.2007). Ціна газу, що використовується для опалення приміщення прийнята відповідно «Прейскуранта цін на природний газ ресурсів НАК "Нафтогаз України"» для суб'єктів господарювання, $c_g = 864$ грн/1000м³. Підбір профнастилу виконувався з вибірки за ГОСТ 24045-94, підбір прогонів та в'язей із гнutoзварних замкнених профілів квадратного перерізу відповідно до ГОСТ 8639-82.

Початковий розв'язок. Нижня межа значень висоти ферми покриття в осях складає 0,8 м з технологічних міркувань пропущення вентканалів. Верхня межа висоти визначена з архітектурних міркувань і рівна 2м. Таким чином область допустимих значень складає $\bar{H} \{0,8; 0,85; \dots; 1,95; 2,00\}$. Початкову висоту альтернатив в осях задано за верхньою межею 2,0 м. Задана умовна площа поперечних перерізів елементів $A_0 = 20$ см²; умовний момент інерції $I_{0x} = 20$ см⁴.

Вибір оптимального рішення та аналіз результатів. Значення критеріїв вибору для початкового розв'язку, отримані в результаті роботи системи, наведені у табл. 1.

Табл. 1

Значення суперкритеріїв для початкового розв'язку

Кри-терій	Альтернативи					
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
K_1	ⓂⓂⓂкг	ⓂⓂⓂкг	ⓂⓂⓂкг	ⓂⓂⓂкг	ⓂⓂⓂкг	ⓂⓂⓂкг
K_2	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн
K_3	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн
K_4	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн

Результати оптимізації геометрії альтернатив наведені у табл. 2. Значення критеріїв оптимальності для альтернатив з оптимальною геометрією наведені у табл. 3. Оскільки замовник – організація-власник із послідуною експлуатацією приміщень, критерієм вибору було обрано K_4 - приведені витрати на блок покриття. Вирішенням задачі вибору є обрання альтернативи за (2):

$$S^* = \arg \min_{x \in S} K_4 = x_3. \quad (3)$$

Конструкція в стадії КМД та повна специфікація елементів альтернативи x_3 , отримані автоматизовано як результат роботи експертної системи, були використані у робочому проекті ферм.

Табл. 2

Оптимальна висота альтернатив, м

Кри-терій	Альтернативи					
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
K_1	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ
K_2	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ
K_3	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ
K_4	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	Ⓜ	ⓂⓂⓂ	ⓂⓂⓂ	Ⓜ

Табл. 3

Значення суперкритеріїв для ферм з оптимальною геометрією

Кри-терій	Альтернативи					
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
K_1	ⓂⓂⓂкг	ⓂⓂⓂкг	ⓂⓂⓂкг	ⓂⓂⓂкг	ⓂⓂⓂкг	ⓂⓂⓂкг
K_2	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн
K_3	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн
K_4	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн	ⓂⓂⓂгрн

Висновки. Економічність рішення за обраним критерієм внаслідок оптимального вибору в порівнянні із альтернативою x_3 з найгіршим показником критерію у початковому розв'язку, яка теж могла бути обрана, з урахуванням оптимізації геометрії склало **12,3%**. Застосування розробленої та реалізованої методики оптимального вибору дозволило винайти рішення, що забезпечує мінімальні витрати при експлуатації пентхаусу.

Отримані результати корелюють із результатами, отриманими при вирішенні схожої задачі кардинального вибору із такими ж топологічними типами конструкцій (U. Klansek & S. Kravanja, 2008 [17]), що також підтверджує достовірність і прийнятність розробленої методики. Слід відзначити також істотну залежність вибору оптимального рішення від якісних висхідних даних та об'єктивних умов. В цьому плані рішення можна назвати «миттєво оптимальним», тобто дійсним для заданих висхідних умов та прейскурантів цін. Розроблена методика та реалізована експертна система можуть бути поширені на будь які інші типи конструкцій.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Білик А.С., Аналітичне моделювання функції маси сталевих конструкцій при виборі оптимальних конструктивних рішень сталевих ферм//Зб. доп. V міжн. наук.-техн. конф. "Буд.мет.к-ції: сьогодення та персп.розвитку", – К:«Сталь», 2006. - 664с.
2. Білик А.С. Оптимальне проектування сталевих стержневих конструкцій із замкнених профілів // Тези доповідей наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів КНУБА – Київ: КНУБА, 2007
3. Білик А.С. Вибір оптимальних конструктивних рішень при аналізі якісних умов проектування// «Будівельні конструкції», зб. наук. праць, вип.63 – Київ, НДІБК, 2005. – С.335-340
4. Білик А.С., Пермяков В.О. Експертне моделювання вибору оптимальних рішень плоских сталевих зварних конструкцій// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди/Зб.наук.праць,Вип.16,Ч.2., Рівне, 2008. С.295-302;
5. Вальд А. Последовательный анализ. – М., Физматгиз, 1960.-328с
6. Виноградов А.И. Подмножества допустимых решений в теории оптимальных стержневых систем. Исследования по теории сооружений, вып.XVI, М.,Стройиздат.,1968
7. ЕНиР на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Конструкции зданий и промышленных сооружений. Введ. 18.12.90 - М.: Госстрой СССР, 1990
8. Лившиц В.Н. Выбор оптимальных решений в технико-экономических расчетах. – М., «Экономика», 1971.-255с
9. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация строительных конструкций – М.:Стройиздат, С.5
10. Многокритериальные задачи принятия решений/ред.Д.Гвишиани;АН СССР; ВНИИСИ – М.,Машиностроение, 1978.- 184с.
11. Пермяков В.А. Современное состояние проблемы оптимального проектирования стальных конструкций// Металеві конструкції, №1, 1998 – С.17-20
12. Сергеев Н.Д., Богатырев А.И. Проблемы оптимального проектирования конструкций. – Л.,Стройизат, 1971.-136с.
13. Чичинадзе В.К. Решение невыпуклых нелинейных задач оптимизации.– М.:Наука. Гл.ред.физ.-мат. лит., 1983. – 256с.
14. Шевченко Е.В. Совершенствование конструкций опор высоковольтных линий электропередачи и создание системы их автоматизированного оптимального проектирования. Автореферат дис... Докт. Техн. Наук. – Киев, 2000.
15. BS DD ENV 1993-1-1 :1992/A1 :1994.Eurocode 3 : Part 1-1: Annex K - Hollow section lattice girder connections
16. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of Joints. prEN 1993-1-8.
17. Klansek U., Kravanja S. Cost Optimal Design of Composite Floor Trusses//Design, fabrication and economy of welded structures. International Conference Proceedings, Horwood publ., Chichester,UK, 2008, P.451-458.

УДК 624.014

МЕТОДИКА ПЕРЕВІРКИ СТІЙКОСТІ СТАЛЕВИХ АРОК З ТОНКОСТІННИХ АРКОГОФРОПРОФІЛІВ

д.т.н., доц., Білик С.І., ас., асп. Куземко В.В.

Київський Національний Університет будівництва і архітектури, кафедра металевих і дерев'яних конструкцій

Постановка проблеми. Впровадження прогресивних сталевих конструкцій економічних будівель універсального призначення є актуальною і практичною науковою проблемою [1-4]. До таких економічних конструкцій відносять полегшені металеві аркові конструкції, у тому числі арок із тонкостінних аркових гофропрофілів [5].

Аналіз основних досліджень, публікацій і невирішених задач. В загальному плані стійкість аркових конструкцій досліджена в роботах [6-12].

Але існує практичні наукові задачі з узагальнення результатів цих досліджень і проведення нових пошуків при розрахунку на стійкість полегшених сталевих аркових конструкцій у складі каркасу будівлі та з тонкостінних профілів і гофропрофілів.

Постановка задачі. Розробити загальну методику перевірки стійкості полегшених сталевих аркових конструкцій із тонкостінних аркових гофропрофілів.

Виклад основного матеріалу досліджень. Розглянута подібна до півциркульної двошарнірна сталева арка із центром розташованим нижче лінії, яка з'єднує шарнірні опори арки. Радіус вигину, радіус окреслення арки (R) вираховується в залежності від прогину арки (L) та стріли аркової конструкції (висоти підйому) - f :

$$R^2 = \frac{l^2}{4} + (R - f)^2 = \frac{L^2}{4} + R^2 - 2Rf + f^2 \rightarrow R^2 = \frac{L^2}{4} + R^2 - 2Rf + f^2 \rightarrow R = \frac{L^2 + 4f^2}{8f} \quad (1)$$

В циркульних арках функція нейтральної осі арки побудована за колом: всі точки нейтральної осі арки рівновіддалені від центру на відстані рівному радіусу кола: $y^2 + x^2 = R^2$, або $y^2/R^2 + x^2/R^2 = 1$, де X, Y – поточні координати осі арки. У випадках коли центр кола розташовано нижче лінії, яка з'єднує опори арки, на відстані ($a_r = R - f$), а початок координат розташовано на лінії опор, рівняння кола має вигляд: $(y + a_r)^2 + x^2 = R^2$.

Довжина дуги піварки: $s = \pi R \alpha / 180^\circ$. Косинус кута розкриття від центральної осі до опори $\cos \alpha = 1 - f / R$.

Розрахунок аркових конструкцій з полегшених сталевих конструкцій на стійкість за можливо виконувати за двома підходами. В основу обох підходів покладено такі положення: відсутня втрата місцевої стійкості окремих ділянок арок та окремих елементів, арка втрачає стійкість за кососиметричною (асиметричною) або симетричною формою, місцева стійкість тонкостінного профілю забезпечена на ділянках розрахункового редукованого перерізу. За