



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

N1, TOM 15 (2009) 13-21

УДК 624.014.072.2

(09)-0178-0

ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ (ОГЛЯД ПРАЦЬ)

І.Д. Пелешко¹, В.В. Юрченко²

¹Національний університет "Львівська політехніка",

12, вул. Ст. Бандери, 79000, м. Львів, Україна;

E-mail: ipeleshko@hotmail.com

²Київський національний університет будівництва та архітектури,

31, пр. Повітрофлотський, 03680, м. Київ-037, Україна.

E-mail: vitalinay@rambler.ru

Отримана 16 жовтня 2008; прийнята 23 січня 2009

Анотація. У статті виконано огляд наукових праць, присвячених проблемі оптимального проектування металевих конструкцій. Наведено ознаки параметричних та структурно-параметричних задач оптимізації будівельних конструкцій. Розглянуті детерміновані, імовірнісні та багатокритеріальні математичні моделі задач оптимізації стержневих систем. Детально описані критерій енергомісткості та критерій надійності, що використовуються для вирішення прикладних задач оптимізації металевих конструкцій. Висвітлені методи пошуку оптимального проектного рішення, які застосовуються для розв'язку прикладних задач, а саме градієнтні методи, метод оптимізації Нелдера-Міда, різноманітні варіації методу випадкового пошуку. Особливу увагу приділено генетичним алгоритмам, що набувають все більшого застосування у проектній практиці.

Ключові слова: оптимальне проектування, стержневі конструкції, параметрична оптимізація, структурно-параметрична оптимізація.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ (ОБЗОР РАБОТ)

И.Д. Пелешко¹, В.В. Юрченко²

¹Национальный университет "Львовская политехника",

12, ул. Ст. Бандеры, 79000, г. Львов, Украина;

E-mail: ipeleshko@hotmail.com

²Киевский национальный университет строительства и архитектуры,

31, пр. Воздухофлотский, 03680, г. Киев-037 Украина.

E-mail: vitalinay@rambler.ru

Получена 16 октября 2008; принята 23 января 2009

Аннотация. В статье выполнен обзор научных работ, посвященных проблеме оптимального проектирования металлических конструкций. Приведены характеристики параметрических и структурно-параметрических задач оптимизации строительных конструкций. Рассмотрены детерминированные, вероятностные и многокритериальные математические модели задач оптимизации стержневых систем. Детально описаны критерий энергоемкости и критерий надежности, которые используются для решения прикладных задач оптимизации металлических конструкций. Освещены методы поиска оптимального решения, которые применяются в прикладных задачах, а именно градиентные

методи, метод оптимізації Нелдера-Мида, різні варіації методу випадкового пошуку. Особливу увагу приділено генетичним алгоритмам, які набувають все більше застосування в проектній практиці.

Ключевые слова: оптимальне проектування, стержневі конструкції, параметрична оптимізація, структурно-параметрична оптимізація.

OPTIMUM DESIGN OF STEEL STRUCTURES: STATE OF ART

Ivan D. Peleshko¹, Vitalina V. Yurchenko²

¹National University "Lvivska politechnika",
12, St. Bandery Str., 79000, Lviv, Ukraine,
E-mail: ipeleshko@hotmail.com;

²Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture,
31, Povitroflotsky Ave., Kyiv-037, 03680, Ukraine,
E-mail: vitalinay@rambler.ru.

Received 16 October 2008; accepted 23 January 2009

Abstract. The article presents a review of scientific researches devoted to the problem of an optimum design of steel structures. Some key features for parametric and structural-parametric optimization tasks were considered. Various formulations of structural optimization tasks such as deterministic and probabilistic mathematical models as well as multi-criteria mathematical models are presented. Thus, reliability and power capacitance criteria were taken into account and practical tasks of steel structures based on these criteria were presented. Moreover, different optimization techniques of optimum decision searching, namely gradient methods, Nelder-Mid's method, different variations of random search methods were considered. The focus is on the genetic algorithms which are widely used in the design practice.

Keywords: optimum designing, steel frame structures, parametric optimization, structural optimization.

Вступ

Прикладні задачі оптимального проектування металевих конструкцій формують як задачі пошуку таких значень невідомих параметрів системи, які забезпечують найменше (або найбільше) значення вибраного критерію оптимальності в області допустимих проектних рішень.

У більшості робіт з оптимізації металевих конструкцій розглядаються так звані *параметричні задачі*, обмежені попереднім визначенням конструктивної форми при можливості зміни її параметрів. Базуючись на виборі конструктивного рішення об'єкта, прийнятого на стадії технічного проекту, оптимізація заданої конструктивної форми здійснюється варіюванням її параметрів при заданій конструктивній формі, умовах закріплення її на опорах, характері з'єднання елементів у вузлах та діючих навантаженнях.

Подальший розвиток теорії оптимального проектування металевих стержневих систем передбачає розв'язок задачі пошуку оптимальної топології конструкції та форми перерізів її елементів при змінних параметрах системи. Такі задачі відносять до задач *структурно-параметричної оптимізації*, що мають ряд особливостей. По-перше, практично завжди в таких задачах одночасно є присутніми змінні неперервного та дискретного типів. По-друге, при структурних перетвореннях конструкції, що спостерігаються протягом ітеративного пошуку оптимального проектного рішення, змінюються кількість та характер змінних проектування і відповідно функцій обмежень та критерію оптимальності. Область пошуку є негладкою, а окремі її підобласті мають різну вимірність, або утворені різним набором змінних.

Математичні моделі прикладних задач оптимізації

Математична модель задачі оптимального проектування конструкцій об'єднує критерій якості, множину незалежних змінних проектування та обмеження, які відображають у загальному випадку нелінійні взаємозв'язки між ними. Вона формулюється, як правило, з врахуванням можливостей методу її розв'язку, що використовує той чи інший автор. Саме цим можна пояснити велике розмаїття моделей та методів розв'язку задач оптимального проектування конструкцій.

У залежності від типу функції мети виділяються детерміновані, імовірнісні та багатоκριтеріальні постановки задач оптимізації.

Найбільшого розповсюдження набули **детерміновані** математичні моделі, у яких виділяється визначений критерій оптимальності проекту, що описує один із показників ефективності конструкції. Найчастіше в задачах оптимізації металевих конструкцій застосовують *критерій матеріаломісткості, вартості, рідше критерій зведених витрат та енергомісткості*.

Найпростіші критерії оптимальності, що описують об'єм, масу або вартість матеріалу конструкції, є достовірними при проектуванні систем з фіксованою геометричною схемою, що підтверджується чисельними прикладами. У задачах, що передбачають варіацію геометричних параметрів системи, необхідним є пошук оптимального значення найбільш узагальненого критерію. Це пояснюється тим, що кінцеві результати оптимізації геометричної схеми конструкції істотно залежать від прийнятого критерію оптимальності

Критерій енергомісткості виражається через відношення дійсної енергії, яка використана на припустиме деформування конструкції, до гранично допустимої потенціальної енергії. Цей комплексний показник трактують як критерій ефективного використання матеріалу в силових конструкціях і називають коефіцієнтом використання матеріалу [6]. Водночас критерій енергомісткості можна інтерпретувати як коефіцієнт корисної дії, який оцінює досконалість несучої конструкції по відношенню до процесу перетворення енергії зовнішніх сил в потенціальну енергію деформації [3]. У працях

[6] критерій енергомісткості застосовують для експертної оцінки на етапі виявлення раціональних проектних рішень при змінних геометричних і структурних параметрах системи.

Імовірнісні постановки задач враховують вплив фактора часу, випадкову природу властивостей конструкції й імовірнісну мінливість зовнішніх впливів та використовують *критерій надійності* (імовірність того, що за час експлуатації конструкції її параметри вийдуть з області допустимих значень).

Проектування з врахуванням імовірності відмови конструкції через визначений час її експлуатації та виконання відповідних ремонтних робіт потребує накопичення банку даних, призначених для статистичної обробки. Така інформаційна база створюється при дослідженні технічного стану реальних об'єктів різного призначення та аналізі умов їх роботи. Недостатня вивченість статистичних властивостей процесів у механіці конструкцій дещо обмежує використання імовірнісних методів оптимізації, проте їх перспектива не викликає сумніву.

Ряд праць присвячено розробці критеріїв надійності для задач оптимізації металевих конструкцій, а також їх економіко-математичному обґрунтуванню [7].

Основним показником експлуатаційної надійності конструкцій або мірою комплексної оцінки технічного стану конструкції протягом експлуатації є імовірність безвідмовної роботи. У задачах оптимального проектування конструкцій з врахуванням безпеки експлуатації цю імовірність розглядають як функцію, що залежить від часу, проектних параметрів конструкції та параметрів системи технічного обслуговування, контролю та ремонтів на етапі експлуатації. Звісно, що оптимізація сумарних витрат, що включають експлуатаційні витрати і витрати на ремонт конструкції, неминуче призводить до більшої початкової вартості проекту.

При наявності даних індивідуальних натурних обстежень, статистики відмов, характерних дефектів та пошкоджень аналогічних об'єктів моделювання експлуатаційної надійності конструкції традиційно здійснюється за двома основними напрямками. Перший підхід ґрунтується на теорії ланцюгів Маркова, коли розглядається зміна експлуатаційного стану конструкції як

процес переходів від одного стійкого стану до іншого. Зазвичай розрізняють справний, працездатний, обмежено працездатний та непрацездатний стани металевих конструкцій, що перебувають в експлуатації. Другий підхід використовує імовірнісне визначення критеріальних умов міцності, стійкості, жорсткості та інших експлуатаційних якостей конструкції. Так, зокрема, у роботі [10] автори формулюють умови міцності та жорсткості сталевих прогонів, що враховують випадкову природу зовнішніх навантажень і стохастичні властивості матеріалу.

На сьогодні існує інформаційна база та розроблено теоретичні засади для математичного моделювання експлуатаційної надійності металевих конструкцій [8, 13].

Конкретизацію моделі експлуатаційної надійності конструкцій здійснюють, як правило, в термінах багатокрокових задач дискретної оптимізації комбінаторного типу, для розв'язку яких застосовують різні схеми методу випадкового пошуку.

Практика експлуатації металоконструкцій спонукала науковців спрямувати свої зусилля на вирішення задач **оптимізації металевих конструкцій за критерієм надійності**. Так, у роботі [9] розглядається задача мінімізації повних очікуваних витрат, а саме вартості зведення та експлуатації конструкції, де визначаються такі значення проектних параметрів і така система технічного обслуговування, контролю та ремонтів конструкції протягом заданого терміну служби, при яких досягається компроміс між проектною масою та експлуатаційною надійністю системи. Практично неможливо врахувати та кількісно оцінити усі негативні фактори, що впливають на технічний стан конструкції протягом експлуатації. Тому модель надійності конструкції розробляють з використанням статистичної інформації про відмови, дефекти та пошкодження, отримані за результатами технічного обстеження аналогічних об'єктів.

Праці [5] присвячені розробці загальних принципів та методики оптимізації комбінованих багатоелементних систем за критерієм мінімальної імовірності їх відмови при фіксованій вартості загальних матеріальних витрат. Автор розглядає такі види комбінованих систем, для яких відмова хоча б одного елементу

призводить до відмови усєї системи в цілому. До них відносять статично визначувані багатоелементні конструкції, а також статично невизначувані комбіновані конструкції, для яких відмова одного з елементів визначає функціональну неможливість подальшої її експлуатації. Сформульовано залежності для визначення імовірності відмови складових елементів комбінованих конструкцій, а також системи в цілому.

Задачі багатокритеріальної оптимізації характеризуються критерієм оптимальності у формі вектора показників ефективності проектного рішення. Вони відкривають можливість для дослідження широкого кола альтернативних проектів з різними цільовими функціями та вибору компромісного рішення поміж суперечливих вимог. Така постановка у найбільшій мірі відповідає задачам проектування, результати якого у загальному випадку залежать не від одного, а від багатьох критеріїв.

Питанням багатокритеріальної оптимізації конструкцій присвячено цикл праць [15, 16]. Проблеми формалізації багатокритеріальних властивостей ряду прикладних задач оптимального проектування конструкцій, вибору співвідношень між повнотою та складністю розрахункових моделей та можливостями процедур оптимізації визначають зміст етапів постановки задачі та обґрунтування методів числової реалізації проектів. При аналізі векторних критеріїв якості виникають труднощі, пов'язані з тим, що часткові критерії можуть знаходитись на різних ієрархічних рівнях системи оцінки проектів конструкції. Врахування такої ієрархічності вимагає використання відповідних моделей і методів розв'язку задач оптимального проектування конструкцій.

Автор розглянув питання формалізації процедур розв'язку багатокритеріальних задач оптимізації, які базуються на інформації про аналогі (природні або технічні) об'єктів, що проектуються. Для розв'язку задачі розрахунку вагових коефіцієнтів скалярних цільових функцій використана аксіоматика компромісу багатокритеріальних задач векторної оптимізації конструкцій. Окрім розрахунку коефіцієнтів, запропонована процедура виводу "згорток" часткових критеріїв методами самоорганізації математичних моделей.

У подальшому автор запропонував модифікацію співвідношень компромісної оптимальності для аналізу багатокритеріальних задач проектування конструкцій, яка використовує інтервали невизначеності переваги в просторі часткових критеріїв з урахуванням відстаней між проектами в просторі параметрів проектування [15]. Подано алгоритм побудови модифікованих компромісно-оптимальних розв'язків задач векторної оптимізації конструкцій.

Значна кількість досліджень присвячена застосуванню методів **багатокритеріальної оптимізації** при проектуванні металевих стержневих систем. Так, у роботі [4] виконана постановка задачі вибору оптимальних параметрів металевих конструкцій з урахуванням декількох критеріїв оптимальності та запропонована методика її рішення на базі формування множини допустимих проектних рішень. Оптимальний розв'язок задачі приймається як одна з точок множини Парето.

Праця [2] присвячена вирішенню задачі пошуку оптимальної геометрії нижнього поясу консольної ферми та площ поперечних перерізів її елементів за критеріями мінімуму об'єму матеріалу та мінімуму накопиченої енергії деформації системи. При цьому векторний критерій автор перетворює на скалярний за допомогою згортання з використанням коефіцієнтів важливості критеріїв та розв'язків однокритеріальних задач. Застосування методу динамічного програмування дозволило привести задачу оптимізації з багатьма змінними до розв'язання послідовності задач меншої вимірності.

Методика розв'язку багатокритеріальної задачі оптимізації розмірів поперечних перерізів елементів металевих конструкцій подається у роботі [18]. В основі запропонованої авторам методики лежить алгоритм визначення паретооптимальних множин проектних рішень, що реалізує метод послідовних уступок та спрямований перебір усіх комбінації дискретних значень змінних проектування. Як цільові функції розглянуто мінімум об'єму (ваги) матеріалів, мінімум трудомісткості виготовлення елементів та максимум жорсткості (моменту інерції) перерізів. При цьому задача пошуку оптимального перерізу заданого типу зведена до варіації та вибору із сортаменту металопрокату дискретних значень змінних

проектування, що задовольняють декільком критеріям якості та забезпечують виконання вимог норм проектування, а також умов технологічності виготовлення і монтажу. Дана методика реалізована у системі автоматизованого проектування сталевих конструкцій.

Відмітимо, що запропоновані імовірнісні та багатокритеріальні постановки без сумніву є цікавими, проте на сьогодні не можуть претендувати на широке розповсюдження передусім через недостатній обсяг відповідної інформаційної бази. Поряд з цим відмічені вище особливості проектування можливо врахувати і в детермінованій постановці задачі, розглядаючи їх у вигляді спеціальних обмежень та формуючи цільову функцію як у визначеному сенсі комплексний критерій, який враховує витрати на зведення та експлуатацію конструкції.

Методи розв'язку задач оптимізації металевих конструкцій

У випадках, коли критерій якості та обмеження математичної моделі є неперервно диференційованими функціями, а область пошуку є гладкою, параметричні задачі оптимізації металевих конструкцій успішно вирішують за допомогою **градієнтних методів**. При цьому пошук оптимальних значень параметрів конструкції здійснюється при заданих топології системи, типах поперечних перерізів її елементів, умовах закріплення на опорах, характері з'єднання елементів і схемі зовнішнього навантаження.

Градiєнтні методи ґрунтуються на ітераційній побудові послідовності проектів, яка забезпечує збіжність до проекту з мінімальним значенням функції мети. У початковій точці, яка представляє собою інженерну оцінку раціонального проекту, на основі аналізу локальної поведінки функції мети визначається напрям, вздовж якого відбувається найшвидше її зменшення. Потім даний напрям проектується на лінеаризовану у цій точці поверхню активних обмежень і здійснюється невеликий крок у напрямку цієї проекції при одночасній ліквідації порушень лінеаризованих обмежень в цій точці.

У роботі [11] запропоновано модифікацію одного кроку ітеративного методу неортогональної проекції градієнта функції мети на

поверхню активних обмежень з одночасною ліквідацією нев'язок в обмеженнях.

Числовий *метод оптимізації Нелдера-Міда* або метод деформованого багатокутника базується на використанні апарату нелінійного програмування, відрізняється високою надійністю, не потребує неперервності функціонала та обчислення його похідних, добре зарекомендував себе для проектування будівельних споруд. Метод Нелдера-Міда не забезпечує строгий математичний розв'язок задачі оптимізації, проте він є наглядним і дозволяє врахувати ту необхідну кількість факторів, яка здатна наблизити задачі до практичного попиту і отримати суттєвий економічний ефект.

Моделювання різних об'єктів оптимізації, зокрема будівельних конструкцій, на базі використання випадкових і псевдовипадкових чисельних послідовностей було покладене в основу методу оптимізації, що отримав назву *випадкового пошуку*. Методи випадкового пошуку не без підстави називають методами статистичних випробувань через те, що в основі збирання інформації про поведінку цільової функції методами випадкового пошуку лежить випадковий перебір різних можливих станів. Подібна випадкова процедура є характерною для методів статистичних випробувань. Фундаментальні дослідження в галузі методів випадкового пошуку виконані у роботах Расстрігіна Л. О., де автор розглядає локальні властивості різних алгоритмів випадкового пошуку, в основному тих, що локально адаптуються, наводяться оцінки ефективності розглянутих алгоритмів. Досліджується інтегральна поведінка крокових алгоритмів випадкового пошуку, робота пошуку з урахуванням перешкод, розглядаються питання самонавчання в процесі випадкового пошуку, покоординатне, коли змінюються властивості ймовірності уздовж кожної з керуючих координат, і безперервне, при якому переважний напрямок пошуку може бути будь-яким [17].

При вирішенні структурно-параметричних задач оптимального проектування більшість науковців надають перевагу методам, в яких реалізується цілеспрямований перебір скінченної множини варіантів проектних рішень. До таких методів, зокрема, належать *генетичні алгоритми*, що базуються на моделюванні ге-

нетичних процесів біологічних організмів та еволюційного розвитку популяцій. Генетичні алгоритми є одними з сучасних методів структурної та параметричної оптимізації конструкцій, які дозволяють отримати близькі до глобального оптимуму проектні рішення і знаходять все більше застосування на практиці [23].

Генетичний алгоритм використовує деяке кодування множини шуканих параметрів системи замість значень цих параметрів, тому його можна застосовувати для розв'язування задач дискретної оптимізації. При цьому, шукані параметри задають як на числових множинах, так і на скінчених множинах довільної природи. Стратегія пошуку в таких алгоритмах побудована на обчисленні та порівнянні значень деякої функції оцінки проектних рішень в точках простору пошуку, що розглядаються. Разом з тим, вимоги щодо унімодальності, неперервності, диференційованості такої функції не висуваються. Це обумовлює можливість використання генетичного алгоритму для широкого класу функцій, в тому числі для функцій, які не мають аналітичного опису.

Праця [1] присвячена огляду праць, в яких при реалізації задач оптимального проектування конструкцій було використано генетичні алгоритми. Автор показав, що попри обмеженість у застосуванні генетичних алгоритмів через значний обсяг прямих розрахунків напружено-деформованого стану системи, цей метод знаходить все більше розповсюдження на практиці.

У роботі [12] запропоновано спосіб кодування проектних рішень металевих конструкцій у бінарні рядки, а також розроблено функцію оцінки таких рядків, що дозволило застосувати методологію пошуку генетичних алгоритмів для розв'язку задач оптимального проектування металоконструкцій в системах автоматизованого проектування.

Цикл праць [21, 22] присвячений питанню оптимального проектування ферм за допомогою генетичного алгоритму. Змінними параметрами ферм приймаються площі поперечних перерізів стержнів та координати вузлів ферми. До системи обмежень включені обмеження міцності стержнів та переміщень вузлів, а також рівняння рівноваги методу скінчених

елементів. На чисельних прикладах показана ефективність застосування генетичних алгоритмів для даного класу конструкцій.

У роботі [20] показано застосування генетичних алгоритмів для розв'язку задач оптимізації ферм за критерієм мінімуму ваги з врахуванням обмежень міцності, стійкості та жорсткості. Змінні проектування задачі оптимізації включають кількість стержнів (інформацію про існуючі стержні), площі поперечних перерізів елементів та координати вузлів ферми.

Описані властивості генетичних алгоритмів, з одного боку, забезпечують їх високу працездатність, а, з іншого, через значний обсяг обчислень уповільнюють його роботу порівняно з іншими методами. Окрім того, зі збільшенням кількості змінних проектування сильно зростає розмір області пошуку. Імовірність попадання в околі глобального мінімуму функції багатьох змінних істотно зменшується, і ітеративний процес "заморожується".

Одним із напрямків покращення роботи еволюційних методів оптимізації є використання **гібридних генетичних алгоритмів**, що поєднують властивості генетичних алгоритмів та інших методів оптимізації, зокрема градієнтних [14, 24]. Зазвичай початкове наближення, що локалізується в області екстремуму функції мети, знаходять з використанням генетичного алгоритму, а пізніше, розташування екстремуму уточнюють за допомогою градієнтного методу. У цьому випадку пришвидшується збіжність ітеративного процесу пошуку та підвищується точність отриманого оптимуму.

Ефективний гібридний пошуковий метод оптимізації з адаптивним управлінням обчислювальним процесом запропонований авторами праці [19]. В основі зазначеного методу лежить ідея гібридизації, яка складається з того, що на заданому наборі пошукових методів, кожний з яких ефективно розв'язує свій вузький клас задач, організується метод, котрий при зміні ситуації завдяки адаптивному управлінню, однозначно вводить до процесу пошуку один або декілька методів з прийнятого набору. Таким чином, гібридний метод може ефективно розв'язувати більш широкий клас задач, ніж кожний з цих методів. Особливо ефективним виявляється застосування гібридного методу у тих випадках, коли обмеження або цільо-

ва функція задані алгоритмічно і наперед невідомо розташування границь та ліній рівня, а також коли обмеження або функція мети представляють собою складно обчислювані функції, оскільки гібридний метод забезпечує мінімальну кількість перевірок виконання обмежень.

Огляд праць, наведений вище, не претендує на повноту викладення через обмеженість обсягу статті та носить локальний характер. Проте, на думку авторів, він ілюструє значний інтерес науковців до даної проблеми, а також можливі оригінальні шляхи її вирішення.

Література

1. Бараненко В. О. Генетичні алгоритми в оптимальному проектуванні конструкцій. Огляд // Вісник ПДАБіА: Науковий та інформаційний бюлетень. 2002. — № 10. — Дніпропетровськ, 2002. — С. 4-9.
2. Бараненко В. О. Багатокритеріальні задачі синтезу ШСС та динамічне програмування // Вісник ПДАБіА: Науковий та інформаційний бюлетень. - 2000. - № 10. - Дніпропетровськ, 2000 - С. 4-12.
3. Бараненко В. О., Седлецька О. В. Аналіз проектів елементів механічних систем за критерієм енергоємності // Вісник ПДАБіА: Науковий та інформаційний бюлетень. 2002. — № 8. — Дніпропетровськ, 2002. — С. 7-16.
4. Бузало Н. А. Возможный вариант решения задачи оптимизации металлических конструкций // Теория и практика металлических конструкций: Междунар. конф. Сб. тр. — Т. 2. — Донецк: Макеевка, ДГАСА, 1997. — С. 107-109.
5. Гениев Г. А. Вопросы оптимизации расхода материалов в многоэлементных системах с позиций минимальной вероятности их отказа // Изв. вузов. Строительство. — 2002. — № 1-2. - С. 17-22.
6. Герасимов Е. Н., Дышкант А. В. Коэффициент использования материалов в задачах структурно-параметрического синтеза // Прикладные проблемы прочности и пластичности. Анализ и оптимизация: Межвуз. сб. — Москва: Товарищество научных изданий КМК, 1997. — С. 43-50.
7. Горохов Е. В., Шелихова Е. В. Экономико-математическое обоснование критериев надежности строительных конструкций при эксплуатации // Теория и практика металлических конструкций. Международная конференция: Сб. тр. / ДГАСА. — Т. 1. — Донецк: Макеевка, 1997. — С. 124-127.
8. Егоров Е. А., Семенец С. С. Модели управления эксплуатационной надежностью и оптимального проектирования стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Вісник ПДАБіА: Науковий та інформаційний бюлетень. — 2002. — № 4. — Дніпропетровськ, 2002. — С. 15-21.

9. Егоров Е. А., Семенец С. С. Оптимальное проектирование стальных резервуаров для нефтепродуктов с учетом надежности // Вісник ПДА-БіА: Науковий та інформаційний бюлетень. — 2004. — №3. — Дніпропетровськ, 2004. — С. 18-23.
10. Пічугін С. Ф., Махінько А. В. Імовірнісна процедура підбору поперечного перерізу сталевих прогонів за критерієм міцності і жорсткості // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. — Вип. 10. - 2003. — Рівне: Вид-во РДТУ, 2003. — С. 155-163.
11. Пелешко І. Д., Юрченко В. В. Про удосконалення одного з методів оптимізації сталених конструкцій // Вісник Державного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. — 1998. — № 360. — С. 166-174.
12. Пелешко І. Д., Юрченко В. В. Застосування генетичних алгоритмів для пошуку оптимальних проектних рішень металевих конструкцій // VIII Українська науково-технічна конференція "Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее". Сборник докладов. — Часть 1 / Под ред. Шимановского А. В. — К.: Сталь, 2004. — С. 250-260.
13. Перельмутер А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. К.: УркНИИпроектстальконструкция, 1999. — 212 с.
14. Пермяков В. О., Юрченко В. В., Пелешко І. Д. Оптимальне проектування металевих стержневих конструкцій на базі гібридного генетичного алгоритму // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. — Вип. 16. — Ч. 2. — Вид-во НУВГП, Рівне, 2008. — С. 303-310.
15. Скалозуб В. В. Апроксимація компромісно-оптимальних розв'язків задач оптимального проектування за допомогою інтервалів невизначеності переваги критеріїв // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: Зб. наук. праць. — 1998. — Т. 4. — Дніпропетровськ: Навчальна книга, 1998. — С. 135-140.
16. Скалозуб В. В. Параметризація задач векторної оптимізації конструкцій // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: Зб. наук. праць. — 1997. — Т. 2. — Дніпропетровськ: Навчальна книга, 1997. — С. 92-98.
17. Філатов Г. В. Оптимальне проектування конструкцій методами випадкового пошуку / Український державний хіміко-технологічний університет. — Д.: УДХТУ, 2003. — 433 с.
18. Холопов И. С., Попов А. Н. Многокритериальная оптимизация элементов металлических конструкций в условиях САПР // Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. науч. тр. — О.: ИМК "Город мастеров", 1999. — С. 226-234.
19. Шелудько Г. А., Шупіков О. М., Сметанкіна Н. В., Угрімов С. В. Прикладний адаптивний пошук. — Харків: Око, 2001. — 192 с.
20. Burczynski T., Kus W., Orantek P. Optimization of plane truss structures using evolutionary algorithm // Computer assisted mechanics and engineering sciences. — 2002. — Vol. 9. — P. 3-20.
21. Czarnecki S. Multithreaded genetic program in truss shape optimization // Теоретичні основи будівництва. Theoretical Foundations of Civil Engineering / Придніпровська державна академія будівництва. Warsaw university of technology faculty of Civil engineering: В. Шесняк, В. І. Большаков (ред.) - Warsaw. — Вип. 8. — 2000. — С. 556-560.
22. Czarnecki S. Optimal structural design using a genetic algorithm // Теоретичні основи будівництва. Theoretical Foundations of Civil Engineering / Придніпровська державна академія будівництва. Warsaw university of technology faculty of Civil engineering: В. Шесняк, В. І. Большаков (ред.) - Warsaw. — Вип. 7. — 1999. — С. 201-210.
23. Gen M., Cheng R. Genetic algorithms and engineering design. John Wiley & Sons, 1997.
24. I-Cheng Y. Hybrid Genetic Algorithms for optimization of truss structures // Computer-aided civil and infrastructure engineering. — 1999. — Vol. 4. — P. 199-206.

Пелешко Іван Дмитрович є доцентом кафедри будівельного виробництва Національного університету "Львівська політехніка". Наукові інтереси: оптимальне проектування складних технічних систем, оптимізація лінійно-деформованих стержневих конструкцій, різноманітні методології пошуку оптимального рішення.

Юрченко Віталіна Віталіївна є доцентом кафедри металевих і дерев'яних конструкцій Київського національного університету будівництва та архітектури, членом європейської асоціації науково-дослідних та освітніх організацій в галузі металобудівництва. Наукові інтереси: оптимальне проектування стержневих конструкцій, пошук оптимальної топології стержневих лінійно-деформованих систем, удосконалення методів розрахунку вузлів металевих конструкцій.

Пелешко Иван Дмитриевич является доцентом кафедры строительного производства Национального университета "Львовская политехника". Научные интересы: оптимальное проектирование сложных технических систем, оптимизация линейно-деформируемых стержневых конструкций, различные методологии поиска оптимального решения.

Юрченко Виталина Витальевна является доцентом кафедры металлических и деревянных конструкций Киевского национального университета строительства и архитектуры, членом европейской ассоциации научно-исследовательских и образовательных организаций в области металлостроительства. Научные интересы: оптимальное проектирование стержневых конструкций, поиск оптимальной топологии стержневых линейно-деформируемых систем, усовершенствование методов расчета узлов металлических конструкций.

Peleshko Ivan Dmytrovych is an Associate Professor of the Department of Building Production of the National University "Lvivska politechnika". His research interests include optimum design of completed technical systems, optimization of elastic frame structures, development of different techniques for optimum decision searching.

Yurchenko Vitalina Vitaliivna is an Associate Professor of the Department of Steel and Wooden Structures of Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture. Yurchenko Vitalina Vitaliivna is a member of the European Network of Research and Development and Training Organizations in Metal Branch. Her research interests include optimum design of steel frame systems, topology optimization of elastic frame structures, improvement of the design techniques for steel structural joints and connections.