

Міністерство освіти і науки України
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Національний університет цивільного захисту України
Slovak University of Technology (Словаччина)
RWTH Aachen University (Німеччина)
University of Sannio (Італія)
Polytechnic University of Valencia (Іспанія)
Warsaw University of Technology (Польща)

X Міжнародна конференція
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ІНЖЕНЕРНОЇ
МЕХАНІКИ

X International Conference
ACTUAL PROBLEMS OF ENGINEERING
MECHANICS



ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
ABSTRACTS OF REPORTS

Одеса, 5-7 червня 2024 року



БЕТОНУ ЗА ДІЇ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	153
Сідней С.О., Березовський А.І., Рудешко І.В., Іщенко І.І.	
ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ПОРОЖНИСТОЇ ПЛИТИ ПРИ	
ПОЖЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	156
Товт Б.М. ОСОБЛИВОСТІ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧІ ТОПОЛОГІЧНОЇ	
ОПТИМІЗАЦІЇ МЕХАНІЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ	
ОБМЕЖЕНЬ НА МІЦНІСТЬ	159
Trofimova L.E. APPLICATION OF TOPOLOGICAL MODELING IN	
STUDYING RHEOLOGY AND MORPHOLOGY OF POLYMERS	163
Фесун І.К., Бурківський М.М. ПРО ВИКОРИСТАННЯ ЗАПАСІВ	
НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ РОЗРАХУНКУ НА	
ПРОГРЕСУЮЧЕ ОБВАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ	167
Човнюк Ю.В., Шамич О.М., Приймаченко О.В., Череди́ченко	
П.П., Іванов Є.О. ФРАКТАЛЬНИЙ ФОРМАЛІЗМ У ІДЕНТИФІКАЦІЇ	
СПОРТИВНИХ СПОРУД ЗАКРИТОГО ТИПУ ЯК СИСТЕМ З	
ЧАСТКОВИМ ІНДЕТЕРМІНІЗМОМ	170
Бармін О.С., Григор'єва С.В. КІНЕТИКА РОСТУ БОРИДНИХ	
ШАРІВ НА НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВІЙ СТАЛІ	178
Винниченко О.В., Винниченко В.І. АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА	
ЕКОНОМІЧНИХ ПЕРЕВАГ ВИРОБНИЦТВА ДОЛОМІТОВОГО	
КЛІНКЕРУ З ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ	180
Горик О.В., Бригун О.М. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КУТА АТАКИ	
НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ПРИ ДРОБОСТРУМІННІ	185
Razsamakin A.V., Gots V.I., Rudenko I.I., Gelevera O.G. THE ROLE	
OF CaCO_3 IN THE FORMATION OF STRENGTH AND DECORATIVE	
PROPERTIES OF POWDER ALKALINE-ACTIVATED SLAG CEMENT	
CONCRETE	187
Барабаш М.С., Донець Т.П., Богдан Д.В. ПЕРШОЧЕРГОВІ	
ЗАХОДИ, ЩОДО СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ	
ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ, ПОШКОДЖЕНОГО ВНАСЛІДОК	
ВОЄННИХ ДІЙ	193
Іщенко А.О., Рассохін Д.О., Носовська О.В. EXPERIMENTAL	
STUDIES OF THE BEARING CAPACITY OF COMPOSITE	
MATERIALS UNDER THERMAL AND VIBRATION LOADS	196
Ковальчук С.Б., Горик О.В., Яхін С.В., Антонєць А.В. ТОЧНИЙ	
АНАЛІТИЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ПРУЖНОГО ЗГИНУ	
БАГАТОШАРОВОЇ БАЛКИ З ЛІНІЙНО РОЗПОДІЛЕНИМ	
НОРМАЛЬНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ	200
Криворучко В.О., Бессараб В.О. ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО	
ІНТЕЛЕКТУ У СУЧАСНІЙ АРХІТЕКТУРІ	205
Мартинов В.І., Тайчан Д.С., Макарова С.С. ВПЛИВ ТВЕРДОЇ	

[2]. EN 1992-1-1 (2004) (English): Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]

[3]. EN 1992-1-2 (2004) Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].

[4]. FIRE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE SLABS ACCORDING TO EC2 AND BRANZ TR8TY, Sanin Dzidic, Conference: 13th Scientific Conference with International Participation "Contemporary Theory and Practice in Construction. Banja Luka, Bosnia and Herzegovina. 25.05. 2018 Volume: Book of Proceedings, ISSN 2566-4484.

[5]. ДСТУ EN 1363-1:2023 Випробування на вогнестійкість. Частина 1. Загальні вимоги (EN 1363-1:2020, IDT).

INVESTIGATION OF THE FIRE RESISTANCE OF HOLLOW SLABS USING MATHEMATICAL MODELING

The paper presents the results of mathematical modeling of the evaluation of the fire resistance of a hollow plate. The calculations were carried out according to the principle of the refined method in accordance with the recommendations of Eurocode 2 using the finite element method. The purpose of the work is to determine which of the fire resistance limit states of a reinforced concrete hollow slab occurs first during mathematical modeling. The obtained results indicate that the limit state for the loss of integrity occurs earlier than for the loss of load-bearing capacity by 678 seconds in the case of conducting the experiment without introducing the concrete failure criterion when the limit plastic deformations are reached. The limit state for the loss of heat-insulating capacity at the time of assuming the loss of integrity was not recorded.

УДК 620.178.7:004.891.32

ОСОБЛИВОСТІ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧІ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ МЕХАНІЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ ОБМЕЖЕНЬ НА МІЦНІСТЬ

Товт Б.М., к.т.н.

Дніпровський Державний Аграрно-Економічний Університет, м. Дніпро

Дослідження, представлене у доповіді, полягає у розвитку наукових основ теорії топологічної оптимізації механічних конструкцій у частині розв'язання складних задач оптимізації конструкцій, а також дослідженні особливостей постановки задачі топологічної оптимізації конструкцій з урахуванням обмежень на міцність. У доповіді розглядаються ключові етапи становлення топологічної оптимізації, як окремої області наукових досліджень.

Топологічна оптимізація конструкцій є концептуальним інструментом проектування й удосконалення конструкцій, який потребує пост-обробки й детального аналізу отриманих результатів. Окреслено методи математичного програмування, що застосовуються для вирішення задач чисельної скінченно-елементної топологічної оптимізації, а саме градієнтні методи (послідовного лінійного програмування, послідовного квадратичного програмування, методи випуклої лінеаризації, метод рухомих асимптот), неградієнтні методи (генетичні, еволюційні тощо), а також методи, засновані на критеріях оптимальності (евристичні методи). Градієнтні методи мають найбільше поширення серед сучасного оптимізаційного програмного забезпечення (Altair HyperWorks OptiStruct, Dassault Systems Simulia ABAQUS, ANSYS та ін.). Основна ідея топологічної оптимізації конструкцій полягає у отриманні оптимального розподілу матеріалу у наперед визначеній області. Класична постановка задачі полягає у мінімізації піддатливості (максимізації жорсткості) конструкції при обмеженнях на її об'єм або вагу [1]. У доповіді розглядаються класична варіаційна та скінченно-елементна постановки задачі топологічної оптимізації. Найбільш широко вживаним методом, який застосовується для вирішення задач топологічної оптимізації конструкцій на теперішній час є SIMP-метод, у основу якого закладено поняття Твердої Ізотропної Мікроструктури (або Матеріалу) зі Штрафом (Solid Isotropic Microstructure (or Material) with Penalization). Ідея SIMP-методу полягає в заміні цілих дискретно змінюваних змінних проектування неперервними змінними, для яких, після означеної заміни, задається певна форма штрафу, що приводить оптимальний проект до дискретного, так званого 0–1 розв'язку, тобто оптимальний проект конструкції має містити лише області з матеріалом – «1» і без нього – «0». Значення штучної функції густини, які лежать всередині визначеного проміжку, штрафуються [2], [3]. Зокрема, у доповіді детально розглядається особливості реалізації SIMP-методу для скінченно-елементної постановки задачі топологічної оптимізації.

Для більшості задач оптимізації механічних конструкцій, класична постановка задачі топологічної оптимізації є неприйнятною, оскільки створення найбільш жорсткої конструкції при обмеженнях лише на її об'єм або вагу не є актуальним. Практично доцільною постановкою задачі слід вважати задачу мінімізації маси конструкції з урахуванням обмежень на напруження.

Введення обмежень на напруження породжує ряд труднощів, серед яких слід виділити велику розмірність оптимізаційних задач у такій постановці, а також проблеми зі збіжністю, обумовлені так званою сингулярністю напружень [4]. У доповіді детально описується і аналізується проблема сингулярності напружень у задачах топологічної оптимізації конструкцій. Для вирішення проблеми сингулярності обмеження на напруження

піддаються релаксації задля вилучення вироджених підпросторів із простору допустимих проектів і, як результат, для того, щоб методами нелінійного програмування можна було отримати глобальний оптимум задачі. Для задач топологічної оптимізації рамних і фермових конструкцій було запропоновано релаксаційні методи, зокрема метод ε -релаксації та гладких обвідних функцій (smooth envelope functions, SEF) [5], [6]. Також розглядається ряд методів, що вирішують цю проблему.

Складність, яка виникає при введенні обмежень на напруження до задач топологічної оптимізації конструкцій, пов'язана з локальним характером обмежень на напруження. У континуальній постановці задачі обмеження на напруження мають розглядатися для кожної точки матеріалу. У дискретній постановці (наприклад, скінченно-елементній) число точок матеріалу є скінченним, проте все одно занадто великим, як для практичної реалізації. Існує декілька способів введення обмежень на напруження до задачі топологічної оптимізації конструкцій, зокрема метод локальних обмежень, метод глобального обмеження і метод блочно-об'єднаних обмежень.

Один із найпростіших способів полягає в контролюванні величини напружень у заданих вузлах кожного скінченного елемента. Цей спосіб відомий під назвою метод локальних обмежень [7]. Метод локальних обмежень потребує великої кількості обчислень, адже до задачі топологічної оптимізації вводиться кількість обмежень на напруження, порівнянна з кількістю скінчених елементів. Зменшення кількості обчислень можливе за рахунок обчислення чутливостей тільки для активних обмежень.

Інший підхід полягає у зведенні всіх локальних обмежень на напруження до одного глобального обмеження [8]. Цей підхід відомий під назвою метод глобального обмеження. Проведено аналіз, розглянуто переваги і недоліки описаних методів.

Обмеження на напруження суттєво нелінійно залежать від проекту. На рівень напружень надмірно впливає зміна відносної густини матеріалу у сусідніх областях, і це явище посилюється в критичних областях з великими градієнтами напружень (концентраціями напружень), наприклад у гострих кутах. Ця проблема отримала назву проблеми залежності розв'язку від скінченно-елементної сітки (mesh-dependency problem) [9], [10], [11]. Таким чином, постановка задачі топологічної оптимізації конструкцій та алгоритм її вирішення мають уникати проблем зі збіжністю.

Для коректної постановки задачі топологічної оптимізації існує метод фільтрування густини [12], детально викладений у доповіді.

Виконано постановку задачі топологічної оптимізації механічних конструкцій з урахуванням обмежень на міцність, зокрема за критеріями допустимих напружень та коефіцієнтів запасу утомної міцності.

- [1]. Bendsoe M.P., Sigmund O. Topology Optimization: Theory, Methods and Application. Heidelberg, Springer Publ., 2003. 370 p.
- [2]. Bendsoe M.P. Optimal shape design as a material distribution. Structure Optimization, 1989, no. 1, pp. 193-202.
- [3]. Rozvany G.I.N. Difficulties in truss topology optimization with stress, local buckling and system stability constraints. Structural and Multidisciplinary Optimization, 1996, no. 11 (3), pp. 213-217.
- [4]. Lee E., James K. A., Martins J. R. R. A. Stress-constrained topology optimization with design-dependent loading. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2012, no. 46 (5), pp. 647-661.
- [5]. Le C., Norato J., Bruns T. Stress-based topology optimization for continua. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2010, no. 41, pp. 605-620.
- [6]. Stolpe M., Svanberg K. On the trajectories of the epsilon-relaxation approach for stress-constrained truss topology optimization. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2001, no. 21 (2), pp. 140-151.
- [7]. Pereira J., Francello E., Barcellos C. Topology optimization of continuum structures with material failure constraints. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2004, no. 26 (1), pp. 50-66
- [8]. Guilherme C.E.M., J.S.O. Fonseca Topology optimization of continuum structures with ε -relaxed stress constraints. ABCM Symposium Series in Solid Mechanics, 2007, no. 1, pp. 239-250.
- [9]. Bendsoe M.P., Sigmund O. Topology Optimization: Theory, Methods and Application. Heidelberg, Springer Publ., 2003. 370 p.
- [10]. Holmberg E., Torstenfelt B., Klarbring A. Stress constrained topology optimization. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2013, no. 48 (1), pp. 33-47.
- [11]. Le C., Norato J., Bruns T. Stress-based topology optimization for continua. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2010, no. 41, pp. 605-620.
- [12]. Bruns T., Tortorelli D. Topology optimization of non-linear elastic structures and compliant mechanisms. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2001, no. 190 (26-27), pp. 3443-3459.

FEATURES OF PROBLEM STATEMENT OF STRESS-CONSTRAINED TOPOLOGY OPTIMIZATION OF MECHANICAL STRUCTURE

The aim of the current report is developing of the scientific foundation of topology structural optimization theory in solving of complex problems of mechanical constructions. Mathematical programming and mathematical modeling are used as tools for formulating the problems of topology optimization of mechanical structures. An investigation and analysis of the current state of the theory of topology structural optimization are carried out. Classical variational and finite element formulations of topology optimization problems are given. The idea and features of implementing the SIMP method for their solution are discussed. The problem of topology optimization is formulated as the minimization of the structural mass with the stress constraints taken into account.