

АНОТАЦІЯ

Кошевий О.О. Багатокритеріальна параметрична оптимізація оболонок обертання при сейсмічних впливах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 – Будівництво та архітектура. – Київський національний університет будівництва і архітектури. Міністерство освіти і науки України, Київ, 2020 р.

Основний зміст дисертаційної роботи

В дисертаційній роботі розроблений новий підхід до розв'язання багатокритеріальної параметричної оптимізації оболонок обертання при сейсмічних впливах на основі методу скінченних елементів і методу параметричної оптимізації градієнтного спуску.

Будівельна галузь є однією із ключових для економічного розвитку будь-якої країни. У всьому світі є потреба до будівництва і проектування будівель і споруд різного призначення. При здійсненні цієї мети залучаються: фінансові, організаційні, інформаційні, часові та інтелектуальні ресурси.

Вирішення деяких із цих потреб виконує оптимальне проектування будівельних конструкцій, а саме розробка методики по удосконаленню параметрів та пришвидшенню прийняття оптимальних рішень при їх проектуванні одночасно.

Впровадження різних підходів оптимального проектування при розрахунку будівельних конструкцій є актуальним, але мало використовуються у реальному проектуванні. Для вирішення питання оптимального проектування в будівельній механіці, необхідний підхід, де враховуються декілька параметрів цільових функцій та обмежень, щоб оцінити з різних боків напружено-деформований стан будівельної конструкції, та обрати оптимальний варіант з урахуванням вихідних даних.

В першому розділі висвітлений сучасний стан проблеми оптимального проектування, методи і підходи, та розглядається три типи оптимізації, а саме: параметрична, топологічна, оптимізація форми конструкції. Також висвітлені основні співвідношення методу скінченних елементів для оболонок обертання та варіаційне формулювання.

У другому розділі розкриваються теоретичні відомості однокритеріальної і багатокритеріальної параметричної оптимізації, в яких висвітлено її математичний алгоритм, при існуючих однієї і більше цільових функцій. Розкривається робота змінних проектування та обмежень, за умов Куна Такера, що є нерівностями, які можна враховувати, як множники Лагранжа. Одним із чинників визначення опуклості цільових функцій є матриця Гессе.

Висвітлена існуюча взаємодія між цільовими функціями, а саме: – цільові функції конфліктують, – цільові функції консолідують, – або є незалежними. При умові, що цільові функції консолідують між собою, є можливість отримання кращого результату і досягти мети, ніж коли вони працюють незалежно одна від одної. В даному дослідженні представлені дві пари цільових функцій: вага конструкції і напруження по Мізесу, та вага конструкції і переміщення по осям Ox, Oy, Oz . Визначено, що дані цільові функції завжди конфліктують одна з одною, тому неможливо знайти оптимальний проект для обох цільових функцій одночасно.

Описана методика та теоретичні відомості про моделювання сейсмічного навантаження. Виконані перевірочні розрахунки та дослідження напружено-деформованого стану при сейсмічному навантаженні, що порівнюються з результатами інших авторів в розрахункових комплексах ПК SCAD, ПК ANSYS, та програмного комплексу FLOWVISION.

Обґрунтована ефективність методики параметричної оптимізації, за допомогою порівняльного розрахунку, та дослідження напружено-деформованого стану на прикладі ребристої плити з отвором, результати порівняні з дослідженнями інших авторів.

У третьому розділі розглядається ряд задач розрахунку оболонок обертання з однокритеріальною параметричною оптимізацією при сейсмічному і статичному навантаженнях, а саме: – циліндрична оболонка з плаваючим дахом, – циліндричні оболонки з жорсткими оболонками покриття, – оболонка у вигляді гіперболічного параболоїду, оболонка хвильової конічної форми та визначені фізико-механічні властивості матеріалів, з яких вони виготовлені.

Чисельний експеримент однокритеріальної параметричної оптимізації виконувався за два етапи. На першому етапі розрахунки проводилися при цільовій функції – вага конструкції, змінні проектування – товщина оболонок обертання, обмеження представлені у вигляді напружень по Мізесу і вузловим переміщенням по осям OX, OY, OZ . Результати першого етапу чисельного експерименту показали, що при дослідженні напружено-деформованого стану виконується автоматизований перерозподіл товщини у оболонок обертання, при цьому відбувається зменшення напружень по Мізесу і вузлових переміщень до заданих обмежень, що призводить до ефективного використання конструкційної сталі, та підвищується несуча спроможність оболонок обертання від комбінації сейсмічного і статичного навантажень.

На другому етапі чисельного експерименту задавалась цільова функція – вага конструкції, змінні проектування – товщина оболонок обертання, обмеження представлені у першій частоті коливання під впливом сейсмічного і статичного навантажень. В результаті дослідження напружено-деформованого стану на другому етапі чисельного експерименту показано, що є ефективна можливість перерозподілу товщини оболонок, для уникнення резонансу, що виникає від роботи обладнання.

Загалом розроблений алгоритм роботи однокритеріальної параметричної оптимізації дає змогу ефективно використовувати конструкційну сталь та витримувати великі навантаження від статичних і сейсмічних впливів, які діють на конструкцію.

У четвертому розділі розкривається суть і підхід до алгоритму розв'язання задач багатокритеріальної параметричної оптимізації оболонок обертання при

сейсмічному і статичному навантаженнях. Чисельні експерименти багатокритеріальної параметричної оптимізації при сейсмічному і статичному навантаженнях проводилися у два етапи.

На першому етапі чисельного експерименту використовувалися для знаходження оптимального проекту наступні вихідні дані: пара цільових функцій – вага і напруження по Мізесу, змінні проектування – товщина оболонок обертання, обмеження – напруження по Мізесу. Результати чисельного експерименту на першому етапі при дослідженні напружено-деформованого стану показали можливість оптимізаційного розрахунку для підбору такої товщини оболонки, при якому всі елементні напруження по Мізесу дорівнюють значенню обмеження, яке задавалося в оптимізаційному розрахунку, при цьому отримані результати можуть бути використані для визначення проектних розмірів оболонок обертання.

На другому етапі чисельного експерименту використовувалися для знаходження оптимального проекту наступні вихідні дані: пара цільових функцій – вага і вузлові переміщення конструкції, в яких висвітлено складові цільової функції переміщення, у вигляді напружень зсуву і енергії деформації конструкції. Змінні проектування – товщина оболонок обертання, обмеження – напруження по Мізесу. Результати чисельного експерименту другого етапу оболонок обертання при дослідженні напружено-деформованого стану з урахуванням комбінації статичних і сейсмічних навантажень дало змогу виконати перерозділ конструкційної товщини сталі, що призвело до її ефективного використання.

Для розв'язання задач параметричної оптимізації в дисертаційному дослідженні було виконано 36 задач пошуку оптимального рішення. Результати дослідження за розробленою методикою порівнювались з результатами, які отримані іншими авторами та показали добре співпадіння, що свідчить про її ефективність при використанні сучасних ЕОМ.

У н'ятому розділі висвітлений алгоритм роботи програмного забезпечення для дослідження багатокритеріальної параметричної оптимізації оболонок обертання при сейсмічному і статичному навантаженнях на конструкцію.

Створене програмне забезпечення дає можливість використовувати нові цільові функції, будувати їх графіки в середовищі MS Excel, що розширює можливості програмного комплексу Femap with Nastran 11.4. Після виконання побудови скінченно-елементної моделі конструкції та задання комбінації сейсмічного і статичного навантажень на конструкцію відбувається оптимізаційний розрахунок, в якому аналізується напружено-деформований стан конструкції та виконуються нерівності, що закладені в алгоритм роботи програмного забезпечення. Далі після аналізу результатів статичного розрахунку, програмне забезпечення дає команду для зміни товщини оболонки у напрямку наближення до заданого обмеження та паралельно, за допомогою MS Excel, виконується побудова графіків зміни цільових функцій, напружень і вузлових переміщень конструкцій.

Результати отримані автором в дисертаційній роботі за допомогою ефективної методики та створення програмного забезпечення зі зручним інтерфейсом впроваджені в практичне проектування.

Ключові слова: оболонки обертання, цільова функція, змінні проектування, параметрична оптимізація, багатокритеріальна оптимізація, однокритеріальна оптимізація, оптимальний проект, обмеження напруження по Мізесу, оптимізація форми и частоти коливання конструкції, метод скінченних елементів, метод градієнтного спуску, обмеження вузлових переміщень, конструкційна сталь.

ABSTRACT.

Kosheviy O. Multicriteria parametric optimization of rotation shells under seismic influences. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis on conferment of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 192 - Construction and civil engineering, branch of knowledge 19 - Construction and architecture. - Kyiv National University of Construction and Architecture. Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2020.

The main content of the thesis.

The work is devoted to the new approach of the decision of multicriteria parametric optimization of rotation covers at seismic influences on the basis of a method of finite elements of building mechanics and a method of parametric optimization of gradient descent.

The construction industry is one of the key to the economic development of any country. All over the world there is a need for the construction of buildings and structures for various purposes. In achieving this goal are involved: financial, organizational, informational, time and intellectual resources.

The solution of some of these needs is performed by the optimal design of building structures, namely the development of methods for improving the parameters and accelerating the adoption of optimal decisions in their design at the same time.

Attempts to implement different approaches to optimal design in the calculation of building structures are relevant, because in general they are little studied and practically not used in real design. To address the issue of optimal design in building mechanics, an approach is needed that takes into account several parameters of objective functions and constraints to assess the stress-strain state of the building structure from different angles, and choose the best option based on the original data.

The first section highlights the current state of the problem of optimal design, methods and approaches, considers three types of optimization, namely: parametric, topological, optimization of the shape of the structure. Theoretical information about

the finite element method for two-dimensional systems and its variational component is also covered. The purpose and tasks of research are formulated.

The second section reveals the theoretical information of single-criteria and multicriteria parametric optimization, which highlights its mathematical algorithm, with the existing one or more objective functions. The work of design variables and constraints, under the conditions of Kuhn Tucker, which are inequalities that can be considered as Lagrange factors, is revealed. One of the factors determining the convexity of objective functions is the Hesse matrix.

The existing interaction between the objective functions is highlighted, namely: - the objective functions conflict, - the objective functions consolidate, - or are independent. Provided that the objective functions consolidate with each other, it is possible to obtain a better result and achieve the goal than when they work independently of each other. This study presents two pairs of objective functions: the weight of the structure and the stress on Mises, and the weight of the structure and the movement along the OX, OY, OZ axes. It is determined that these objective functions always conflict with each other, so it is impossible to find the optimal design for both objective functions simultaneously.

The technique and theoretical information about calculations at seismic loading are described. Test calculations and studies of the stress-strain state under seismic loading were performed, which are compared with the results of other authors in the calculation complexes of SCAD PCs, ANSYS PCs, and FLOWVISION software package.

The efficiency of the method of parametric optimization, by means of comparative calculation, and the study of the stress-strain state on the example of a ribbed plate with a hole is substantiated, the results are comparable with the studies of other authors.

The third section considers a number of problems for calculating the shells of rotation with single-criteria parametric optimization under seismic and static loads, namely: - cylindrical shell with a floating roof, - cylindrical shells with rigid shells, -

shell in the form of a hyperbolic paraboloid, waveform physical and mechanical properties of the materials from which they are made.

Numerical experiment of single-criteria parametric optimization was performed in two stages. At the first stage, the calculations were performed with the objective function - the weight of the structure, design variables - the thickness of the shells of rotation, the constraints are presented in the form of stresses on Mises and nodal movement along the X, Y, Z axes. The results of the first stage of the numerical experiment showed that in the study of the stress-strain state the automated redistribution of thickness in the shells of rotation is performed, while the Mises stresses and nodal displacements are reduced to the specified limits, which leads to efficient use of structural material from a combination of seismic and static loads on them.

At the second stage of the numerical experiment, the target function was set - the weight of the structure, the design variables - the thickness of the shells of rotation, the constraints are presented in the first oscillation frequency under the influence of seismic and static loads. As a result of the study of the stress-strain state in the second stage of the numerical experiment, it was shown that there is an effective possibility of redistribution of the thickness of the shells to avoid the resonance arising from the operation of the equipment.

In general, the developed algorithm of single-criterion parametric optimization allows to effectively use structural steel and withstand heavy loads from static and seismic influences acting on the structure.

The fourth section reveals the essence and approach to the algorithm for solving problems of multicriteria parametric optimization of shells of rotation under seismic and static loads. Numerical experiments of multicriteria parametric optimization under seismic and static loads were carried out in two stages.

At the first stage of the numerical experiment, the following initial data were used to find the optimal design: a pair of objective functions - weight and stress according to Mises, design variables - the thickness of the shells of rotation, constraints - stress according to Mises. The results of the numerical experiment at the first stage in

the study of the stress-strain state showed the possibility of optimization calculation for the selection of such a thickness of the shells, in which all finite elements of Mises stress would be almost equal to the value of the constraint. Mises stresses and nodal displacements several times, which leads to the efficient use of structural material, with a combination of seismic and static loads on the structure.

In the second stage of the numerical experiment, the following initial data were used to find the optimal design: a pair of objective functions - weight and nodal displacements of the structure, which highlighted the components of the objective displacement function, in the form of shear stresses and deformation energies. Design variables - the thickness of the shells of rotation, the constraints - the stress on Mises. The results of the numerical experiment of the second stage of rotation shells in the study of the stress-strain state taking into account the combination of static and seismic effects showed a slight increase in structural weight of steel, compared with the initial value of stress and displacement.

To solve the problems of parametric optimization in the thesis, 36 problems of finding the optimal solution were performed. The results of the study according to the developed method were compared with the results obtained by other authors and showed a good match, which indicates its effectiveness when using modern computers.

The fifth section highlights the algorithm of software for the study of multicriteria parametric optimization of shells of rotation under seismic and static loads on the structure.

An algorithm for software operation has been created, which consists in the interaction between it and the Femap with Nastran 11.4 and MS Excel software package. After constructing a finite-element model of the structure and setting a combination of seismic and static loads on the structure is an optimization calculation, which analyzes the stress-strain state of the structure and performs the inequalities inherent in the software algorithm. Then, after analyzing the results of static calculation, the software gives a command to change the thickness of the shell in the direction of approaching the specified constraint and in parallel, using MS Excel, builds graphs of changes in objective functions, stresses and nodal movements of structures.

The results obtained by the author in the thesis with the help of effective methods and the creation of software with a user-friendly interface are implemented in practical design.

Keywords: shells of rotation, objective function, design variables, parametric optimization, multicriteria optimization, single-criteria optimization, optimal design, Mises stress limitation, structure shape and frequency oscillation optimization, finite element method, gradient descent method, nodal displacement constraints.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.

а. статті, що включені до наукових періодичних видань інших держав, та у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. **Кошевий О.О.** Оптимальне проектування циліндричних резервуарів з жорсткими оболонками покриття // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірник. – К.: КНУБА, 2019. – Вип. 103. – С. 253-265. (Web of Science);

2. **Кошевий О.О.** Оптимізація паливних резервуарів з жорсткими оболонками покриття за власними частотами коливання // Восточно-Европейский научный журнал – Варшава 2019 – №45 – С. 21-32 (Copernicus)

б. статті в наукових фахових виданнях України:

3. **Гайдайчук В.В. Кошевий О.О. Кошева О.В.** Параметрична оптимізація колон при різній геометричній формі поперечного перерізу // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. К.: КНУБА. 2018. Вип.66.– С.78 – 89.

4. **Гайдайчук В.В. Кошевий О.О. Кошева І.С.** Оптимальне проектування ригелів при різній геометричній формі поперечного перерізу в програмному комплексі femap nastran // Будівельні конструкції. Теорія і практика: наук.-техн. збірник. К.: КНУБА. 2018. Вип.2.– С.121 – 134.

5. **Гайдайчук В.В. Кошевий О.О. Кошевий О.П.** Оптимальне проектування і розрахунок на міцність оболонок і пластин при дії комбінованих навантажень в програмному комплексі Femap Nastran. // Сучасні проблеми архітектури та містобудування: наук.-техн. збірник. К.: КНУБА. 2018. Вип.50.– С.314 – 324.

6. **Гайдайчук В.В. Кошевий О.О.** Чисельне рішення задач оптимального проектування при обмежені власних частот коливання пологої оболонки зі

зламами // Сучасні проблеми архітектури та містобудування: наук.-техн. збірник. К.: КНУБА. 2018. Вип.51.– С.416 – 425.

7. Кошевий О.О. Оптимізація сталюого звареного резервуару при обмеженні: напружень, переміщень, власних частот коливання. // Будівельні конструкції. Теорія і практика: наук.-техн. збірник. К.: КНУБА. 2018. Вип.3.– С.34 – 50.

8. Кошевий О.П. **Кошевий О.О.** Чисельне дослідження власних коливань розтягнутих оболонок утворених мінімальними поверхнями // Містобудування та територіальне планування, Вип. 55. – Київ, КНУБА, 2015. – с. 215-227

9. Кошевий О.П. **Кошевий О.О.** Власні коливання оболонок мінімальних поверхонь на круглому та квадратному контурі // Містобудування та територіальне планування, Вип. 59. – Київ, КНУБА, 2016. – с. 234-244

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

10. **Кошевий О.О.** Оптимізація паливного резервуару з плаваючим дахом при обмеженні напружень, переміщень, власних частот коливань // Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції: тези доповідей науково-практичної конференції, м. Київ 24-25 травня 2018 р. – С. 62-64.

11. **Кошевий О.О.** Параметрична оптимізація циліндричних резервуарів з жорсткими оболонками покриття // Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції – Київ 24-25 вересня 2019. – К.: ТОВ «Софія-А». – С. 48-51

12. **Кошевий О.О.** Дослідження параметричної оптимізації власних частот коливань паливних резервуарів з різними видами оболонок покриття. // Ефективні технології в будівництві: тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції – Київ 2019. – С. 102-103

13. **Кошевий О.О.** Параметрична оптимізація власних частот коливань хвильової конічної оболонки. // Вібрації в техніці та технологіях: тези доповідей XVIII Міжнародної науково-технічної конференції – Київ 23-25 жовтня 2019. – К.: «Видавництво Людмила». – С. 52-56