АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 519.61

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/03>**Андрєєва Т.В.**

Національний авіаційний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ ПРУЖНОЇ СТІЙКОЇ КОЛОНИ, НАВАНТАЖЕНОЇ ЗВЕРХУ

У статті подається короткий огляд задачі оптимізації форми пружної стійкої колони, навантаженої зверху позовжньою силою Р. Колона розглядається зі змінними, але геометрично подібними й однаково орієнтованими поперечними перерізами. Ця конструкція часто використовується при побудові більш складних механічних конструкцій літальних апаратів. І тому, оптимізуючи форму механічних конструкцій, можна значно знизити вагу літальних апаратів. А як уже добре відомо, проблема мінімізації ваги є критичною при проектуванні безпілотних літальних апаратів.

Після цього представлена онтологія задачі (предметної галузі), а також онтологія методів оптимізації форми пружного тіла (а саме колони) з погляду втрати стійкості при позовжньому навантаженні з акцентом на методи недиференційованої оптимізації, запропоновані академіком Н.З. Шором. В онтології робиться акцент на субградієнтні методи. Ці методи дають нам змогу вирішувати ситуації, у яких виникають проблеми із застосовністю класичних диференціальних методів. Особлива увага відводиться г-алгоритмам (субградієнтні методи з розтягненням простору в напрямі різниці двох послідовних субградієнтів).

Наведені також елементи онтології інтервального аналізу для розрахунку допусків при посадці колони, урахування різні способи закріплення її кінців: шарнір – шарнір, жорстке кріплення – шарнір, жорстке кріплення – вільний кінець, жорстке кріплення – жорстке кріплення. Під онтологією розуміється «формальна специфікація концептуалізації». Теоретико-категоріальне представлення онтології дає компактне представлення предметної галузі й розширює можливі методи вирішення проблеми оптимізації.

Ключові слова: стійка колона, форма пружного тіла, задача оптимізації, методи оптимізації, субградієнтні методи, недиференційована оптимізація, онтологія проблеми.

Постановка проблеми. У зв'язку з розвитком машинобудування, авіації та ракетної техніки в сучасних умовах висуваються підвищені вимоги до ефективного використання матеріальних ресурсів, які забезпечуються за рахунок зниження матеріаломісткості кінцевої продукції зі збереженням її функціональності. Одними з найбільш використовуваних механічних конструкцій при створенні літальних апаратів є колони. Саме тому доцільним є дослідження, що стосується оптимізації форми стійкої колони, навантаженої зверху позовжньою силою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Це питання не нове, його дослідження розпочалося ще з робіт Ейлера та Лагранжа, але й зараз продовжує викликати інтерес у науці. Автор статті в роботі спирається на дослідження Н. Ольхоффа й С. Расмунссена, які виявили, що проблеми опти-

мізації фігури можна звести до проблем недиференційованої оптимізації [2]. Також на роботи академіка Н.З. Шора, який займався питаннями недиференційованої оптимізації форми тіл, що витримують максимальне навантаження, і запропонував декілька методів оптимізації [3]. Науковий керівник автора Н.М. Глазунов розпочав досліджувати можливість застосування г-алгоритмів до вирішення задачі оптимізації пружних тіл [4]. Автор статті продовжив дослідження в цьому ж напрямі.

Постановка завдання. У статті автор представляє частину своєї роботи, яка стосується онтології задачі й онтології методів недиференційованої оптимізації. Ці методи дають змогу нам вирішувати ситуації, у яких виникають проблеми із застосовністю класичних диференціальних методів. Також додається онтологія інтер-

вального аналізу для обчислення допусків при посадці колони, урахуваючи різні способи закріплення її кінців.

Виклад основного матеріалу дослідження. Постановка задачі. Розглянемо колону зі змінними, але геометрично подібними й однаково орієнтованими поперечними перерізами, навантажену поздовжньою силою P . Утрата стійкості колони описується відомим рівнянням Бернуллі-Ейлера:

$$(EIy'')'' + Py'' = 0, \quad 0 < x < L, \quad (1)$$

де $y(x)$ – функція прогину (бокове відхилення колони в т. x); L – довжина колони; E – модуль Юнга.

$I(x) = kA^\alpha(x)$ – момент інерції фіксованого перерізу стосовно осі z , перпендикулярної до площини прогину, $A(x)$ – площа поперечного перерізу колони. Формула для $I(x)$ береться з таблиці залежно від форми поперечного перерізу тіла.

Розглянемо випадок круглого поперечного перерізу, тоді

$$I(x) = \frac{1}{4} \pi R^4(x) = (\pi R^2)^2 \cdot \frac{1}{4\pi} = A^2(x) \cdot \frac{1}{4\pi} \Rightarrow k = \frac{1}{4\pi}, \alpha = 2.$$

Об'єм колони описується інтегралом

$$V = \int_0^L A(x) dx. \quad (2)$$

Для зручності введемо безрозмірні величини

$$x^0 = \frac{x}{L}, \quad y^0 = \frac{y}{L},$$

$$a(x^0) = \frac{A(Lx^0)L}{V}, \quad \lambda = \frac{PL^{2+\alpha}}{EkV^\alpha} = \frac{4\pi PL^4}{EV^2}.$$

Тоді (1)–(2) матимуть вигляд (верхній індекс «0» у змінних x^0 , y^0 тут і нижче опускаємо):

$$(a^2(x)y'')'' + \lambda y'' = 0 \quad \left(-\frac{1}{2} < x < \frac{1}{2}\right) \quad (3)$$

$$\int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} a(x) dx = 1. \quad (4)$$

Залежно від способу закріплення кінців колони можливі різні граничні умови. Наприклад, якщо розглянути випадок, коли один кінець колони жорстко закріплений, а інший – вільний. Тоді граничні умови матимуть вигляд:

$$y\left(-\frac{1}{2}\right) = y'\left(-\frac{1}{2}\right) = 0, \quad (a^2 y'')_{x=\frac{1}{2}} = (a^2 y'' + \lambda y)'_{x=\frac{1}{2}} = 0. \quad (5)$$

Задача оптимізації полягає в знаходженні функції площі поперечного перерізу $a(x) \geq 0$, максимізуючій критичну силу втрати стійкості (мінімальне власне значення λ_0 задачі (3), (5)) і задовольняючій умові сталості об'єму (4) [1, с. 46–47].

Онтологія задачі й методів її розв'язання.

Побудуємо онтологію задачі й методів оптимізації форми пружного тіла з погляду втрати стійкості навантаження з акцентом на методи оптимізації, запропоновані академіком Н.З. Шором. Також додамо онтологію інтервального аналізу для обчислення допусків при посадці колони.

Під онтологією розуміємо «формальну специфікацію концептуалізації» [5, с. 199]. Побудуємо елементарні поняття й концепції предметної галузі, елементарні правила та відносини між поняттями. Ми використовуємо такі відносини між поняттями:

- v вище поняття
- n нижче поняття
- a асоціативний зв'язок
- c синонім

ПРУЖНЕ ТІЛО

v – ТІЛО

n – КОЛОНА

СТЕРЖЕНЬ

БАЛКА

ПЛАСТИНА

КОЛОНА

v – ПРУЖНЕ ТІЛО

n – КОЛОНА ПОСТІЙНОГО ПЕРЕРІЗУ

КОЛОНА ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ

a – НАВАНТАЖЕНА КОЛОНА

ВИГІН КОЛОНИ

НАВАНТАЖЕНА КОЛОНА

a – КОЛОНА

НАВАНТАЖЕННЯ

НАВАНТАЖЕННЯ

n – НАВАНТАЖЕННЯ ПОПЕРЕЧНЕ

НАВАНТАЖЕННЯ ПОЗДОВЖНЕ

КОНСЕРВАТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

НЕКОНСЕРВАТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

КРИТИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

a – ЗГИНАЛЬНИЙ МОМЕНТ

НАВАНТАЖЕННЯ ПОЗДОВЖНЕ

v – НАВАНТАЖЕННЯ

c – СТИСКАЮЧА СИЛА

КРИТИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

v – НАВАНТАЖЕННЯ

c – КРИТИЧНА СИЛА

a – УТРАТА СТІЙКОСТІ КОЛОНИ

УМОВА ВТРАТИ СТІЙКОСТІ КОЛОНИ

a – РІВНЯННЯ ПРУЖНОЇ ЛІНІЇ

РІВНЯННЯ ВИКРИВЛЕННЯ СТЕРЖНЯ

ПІД ДІЄЮ ВЛАСНОЇ ВАГИ

РІВНЯННЯ ПРУЖНОЇ ЛІНІЇ

c – $EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = -Py$

а – ФУНКЦІЯ ВИГИНУ ($y(x)$)

МОДУЛЬ ЮНГА (E)

РІВНЯННЯ ВИКРИВЛЕННЯ СТЕРЖНЯ ПІД ДІЄЮ ВЛАСНОЇ ВАГИ

$$C - EJ \frac{d^3 y}{dx^3} + q(l-x) \frac{dy}{dx} = 0$$

а – ФУНКЦІЯ ВИГИНУ ($y(x)$)

МОДУЛЬ ЮНГА (E)

МОМЕНТ ІНЕРЦІЇ СТЕРЖНЯ (J)

ВАГА ОДИНИЦІ ДОВЖИНИ СТЕРЖНЯ (q)

СТИСКАЮЧА СИЛА У НИЖНЬОГО

КІНЦЯ СТЕРЖНЯ (ql)

ЗАКРІПЛЕННЯ КОЛОН

с – ГРАНИЧНІ УМОВИ

н – ШАРНІР-ШАРНІР

ЖОРСТКЕ КРІПЛЕННЯ – ШАРНІР

ЖОРСТКЕ КРІПЛЕННЯ – ВІЛЬНИЙ КІНЕЦЬ

ЖОРСТКЕ КРІПЛЕННЯ – ЖОРСТКЕ КРІ-

ПЛЕННЯ

МЕТОДИ НЕДИФЕРЕНЦІЙОВАНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

н – СУБГРАДІЄНТНІ МЕТОДИ

а – ШОР Н.З.

СУБГРАДІЄНТНІ МЕТОДИ

в – МЕТОДИ НЕДИФЕРЕНЦІЙОВАНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

н – R-АЛГОРИТМИ

R-АЛГОРИТМИ

в – МЕТОДИ НЕДИФЕРЕНЦІЙОВАНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

а – РОЗТЯГНЕННЯ ПРОСТОРУ

РІЗНИЦЯ ДВОХ ПОСЛІДОВНИХ СУБГРАДІЄНТІВ

ІНТЕРВАЛЬНИЙ АНАЛІЗ

с – ІНТЕРВАЛЬНІ ОБЧИСЛЕННЯ

ІНТЕРВАЛЬНА МАТЕМАТИКА

ІНТЕРВАЛЬНА АРИФМЕТИКА

в – ОБЧИСЛЮВАЛЬНА МАТЕМАТИКА

а – МЕТОДИ ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

ІНТЕРВАЛЬНА АРИФМЕТИКА

н – ДІЙСНА ІНТЕРВАЛЬНА АРИФМЕТИКА

РАЦІОНАЛЬНА ІНТЕРВАЛЬНА АРИФ-

МЕТИКА

КОМПЛЕКСНА ІНТЕРВАЛЬНА АРИФ-

МЕТИКА

ІНТЕРВАЛ

с – ІНТЕРВАЛЬНЕ ЧИСЛО

ЗАМКНЕНИЙ ДІЙСНИЙ ІНТЕРВАЛ

н – ЗНАКОПОСТІЙНИЙ ІНТЕРВАЛ

ЗНАКОЗМІННИЙ ІНТЕРВАЛ

ВИРОДЖЕНИЙ ІНТЕРВАЛ

а – АРИФМЕТИЧНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

ВИРОДЖЕНИЙ ІНТЕРВАЛ

с – ТОЧКОВИЙ ІНТЕРВАЛ

ЧИСЛО

в – ІНТЕРВАЛ

АРИФМЕТИЧНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

н – БІНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

УНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

БІНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

н – ДОДАВАННЯ ІНТЕРВАЛІВ

ВІДНІМАННЯ ІНТЕРВАЛІВ

МНОЖЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ

ДІЛЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ

ДОДАВАННЯ ІНТЕРВАЛІВ

$$c - [a, b] + [c, d] = [a + c, b + d]$$

в – БІНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

ВІДНІМАННЯ ІНТЕРВАЛІВ

$$c - [a, b] - [c, d] = [a - d, b - c]$$

в – БІНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

МНОЖЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ

$$c - [a, b] \times [c, d] = [\min (ac, ad, bc, bd), \max (ac, ad, bc, bd)]$$

в – БІНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

ДІЛЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ

$$c - [a, b] / [c, d] = [\min (a/c, a/d, b/c, b/d), \max (a/c, a/d, b/c, b/d)]$$

в – БІНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

МЕТОДИ ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

н – ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ В ЛІНІЙНІЙ АЛГЕБРИ

МЕТОДИ ЗВУЖЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ, ЩО

МІСТЯТЬ БЕЗЛІЧ ЗНАЧЕНЬ ФУНКЦІЙ

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ

НЕЛІНІЙНИХ АЛГЕБРАЇЧНИХ РІВНЯНЬ

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ

ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

а – ІНТЕРВАЛЬНЕ РОЗШИРЕННЯ

ІНТЕРВАЛЬНА ОЦІНКА

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ В ЛІНІЙНІЙ АЛГЕБРИ

в – МЕТОДИ ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

н – ПРЯМІ МЕТОДИ ДЛЯ СИСТЕМ ЛІНІЙНИХ АЛГЕБРАЇЧНИХ РІВНЯНЬ

ІНТЕРВАЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ПРОГОНКИ

ІНТЕРВАЛЬНІ ІТЕРАЦІЙНІ МЕТОДИ ДЛЯ СЛАР

ПРЯМІ МЕТОДИ ДЛЯ СИСТЕМ ЛІНІЙНИХ АЛГЕБРАЇЧНИХ РІВНЯНЬ

в – ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ В ЛІНІЙНІЙ АЛГЕБРИ

н – ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД ГАУСА

МЕТОДИ ЗВУЖЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ, ЩО МІСТЯТЬ БЕЗЛІЧ ЗНАЧЕНЬ ФУНКЦІЙ

В – МЕТОДИ ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Н – МЕТОД СКЕЛБОУ

МЕТОД ЗАСТОСУВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ІНТЕРВАЛЬНОЇ АРИФМЕТИКИ

МЕТОД ОБЧИСЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕСТАНДАРТНОЇ АРИФМЕТИКИ

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ НЕЛІНІЙНИХ АЛГЕБРАІЧНИХ РІВНЯНЬ

В – МЕТОДИ ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Н – МЕТОД МУРА

АНАЛОГ МЕТОДУ ЧЕБИШЕВА

МЕТОД ХАНСЕНА

МЕТОД КРАВЧИКА

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

В – МЕТОДИ ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Н – ЯВНІ МЕТОДИ ДЛЯ ЗВИЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

НЕЯВНІ МЕТОДИ ДЛЯ ЗВИЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ КОШІ

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ ДЛЯ ЗДР

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ З ЧАСТИННИМИ ПОХІДНИМИ ТА ІНТЕРВАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

ЯВНІ МЕТОДИ ДЛЯ ЗВИЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

В – ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

Н – МЕТОДИ МУРА

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ S-ГО ПОРЯДКУ ТИПУ РУНГЕ-КУТТА

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ ТИПУ АДАМСА

ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД НА ОСНОВІ ФОРМУЛИ ПРЯМОКУТНИКІВ

ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД НА ОСНОВІ ФОРМУЛИ ТРАПЕЦІЙ

ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКУ НА ОСНОВІ КВАДРАТУРНОЇ ФОРМУЛИ «ТРЬОХ ВОСЬМИХ»

МЕТОД, ЗАСНОВАНИЙ НА ЗАСТОСУВАННІ ФОРМУЛИ СІМПСОНА

НЕЯВНІ МЕТОДИ ДЛЯ ЗВИЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

В – ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

Н – АНАЛОГ НЕЯВНОГО МЕТОДУ ЕЙЛЕРА

НЕЯВНИЙ ІНТЕРВАЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ДРУГОГО ПОРЯДКУ

НЕЯВНІ ІНТЕРВАЛЬНО-АНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ БІЛЬШ ВИСОКИХ ПОРЯДКІВ

НЕЯВНИЙ МЕТОД НА ОСНОВІ ФОРМУЛИ СІМПСОНА

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ КОШІ

В – ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

Н – МЕТОД КРЮКЕБЕРГА

МЕТОД БАУХА

ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД ДЛЯ РІВНЯННЯ БАУХА

ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД ДЛЯ РІВНЯННЯ $y' = f(y)$ НА ОСНОВІ ТЕОРЕМИ ЧАПЛИГІНА

МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯННЯ $y' = f(x, y)$

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ ДЛЯ ЗДР

В – ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

Н – АНАЛОГ МЕТОДІВ СКІНЧЕННИХ РІЗНИЦЬ

МЕТОД ОЛІВЕЙРА

Висновки. Коротко розглянута проблема оптимізації форми стійкої колони, що входить до складу механічних конструкцій літальних апаратів. Подані онтології задач та методів оптимізації форми стійкої колони, навантаженої зверху, з акцентом на методи недиференційованої оптимізації. Також представлені елементи онтології інтервального аналізу для розрахунку допусків при посадці колони. Це, у свою чергу, дає нам компактне представлення предметної галузі й розширює можливі методи вирішення проблеми оптимізації.

Список літератури:

1. Сейранян А.П. Задача Лагранжа о наивыгоднейшем очертании колонны. *Успехи механики*. Москва, 2003. № 2. С. 45–96.
2. Olhoff N., Rasmussen S. On single and bimodal optimum buckling loads of clamped columns. *Int. Journ. Solids Struct.* United Kingdom, 1977. Vol. 13. № 7. P. 605–614.
3. Shor N.Z. Nondifferentiable optimization and polynomial problems. Boston : Kluwer Acad. Publ., 1998. 394 p.
4. Glazunov N. Nondifferential Optimization and Shapes of Elastic Bodies. *Modelare Matematica, Optimization si Tehnologii Informatiionale*: Materiale Conf. Intern. (Chisinau, 25 mar. 2014). Chisinau : Evrica, 2014. Vol. 2. P. 109–116.
5. Gruber T. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*. USA, 1993. Vol. 5. № 2. P. 199–220.

Andreieva T.V. SHAPE OPTIMIZATION OF THE ELASTIC STABLE COLUMN, THAT LOADED ON THE TOP

The article gives a short overview of the shape optimization problem of an elastic stable column, that loaded on the top by the longitudinal force P . The column is considered with variable, but geometrically similar and equally oriented cross sections. This design is often used in the construction of more complex mechanical structures of aircraft. Therefore, by optimization the shape of mechanical structures, you can significantly reduce the weight of aircraft. And as is well known, the problem of weight minimization is critical in the design of unmanned aerial vehicles.

After that, the ontology of the problem (subject area) is presented, as well as the ontology of methods for optimization the shape of an elastic body (namely, columns) in terms of loss of stability under longitudinal loading with emphasis on methods of undifferentiated optimization proposed by Academician N.Z. Shor. The ontology emphasizes subgradient methods. These methods allow us to solve situations in which there are problems with the applicability of classical differential methods. Particular attention is paid to r -algorithms (subgradient methods with space stretching in the direction of the difference of two consecutive subgradients).

The elements of the ontology of interval analysis for calculating the tolerances when landing a column are also given, taking into account different ways of fixing its ends: hinge – hinge, rigid fastening – hinge, rigid fastening – free end, rigid fastening – rigid fastening. Ontology means “formal specification of conceptualization”. Theoretical-categorical representation of ontology gives a compact representation of the subject area and expands the possible methods of solving the optimization problem.

Key words: *stable column, elastic body shape, optimization problem, optimization methods, subgradient methods, undifferentiated optimization, problem ontology.*