

*М. А. ТКАЧУК, М. О. БОНДАРЕНКО, Р. І. ШЕЙЧЕНКО, О. Ю. ШУТЬ, Я. М. ЛІСОВОЛ,
А. В. ЗАВОРОТНИЙ, А. В. НАБОКОВ*

НОВИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Для визначення раціональних технічних рішень для інноваційних виробів, у складі яких є тонкостінні машинобудівні конструкції, запропоновано постадійний процес. Цей процес передбачає визначення структури і параметрів тонкостінних машинобудівних конструкцій, які задовольняють традиційним критеріям та обмеженням. Надалі здійснюється варіативний аналіз та будується функція відгуку, яка характеризує залежність техніко-економічних показників від варіювання певної групи параметрів. Після цього проектні параметри обираються із умови незначної зміни техніко-економічних показників при варіюванні проектних та економічних умов. Завдяки такій процедурі визначається технічне рішення та проектні параметри, які забезпечують задовільні техніко-економічні показники для визначеної області варіювання усіх обставин життєвого циклу виробу.

Ключові слова: тонкостінна машинобудівна конструкція, інноваційний виріб, конструктивні параметри, транспортер, метод скінчених елементів

*Н. А. ТКАЧУК, М. А. БОНДАРЕНКО, Р. И. ШЕЙЧЕНКО, А. Ю. ШУТЬ, Я. Н. ЛИСОВОЛ,
А. В. ЗАВОРОТНИЙ, А. В. НАБОКОВ*

НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИННОВАЦИОННЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Для определения рациональных технических решений для инновационных изделий, в составе которых есть тонкостенные машиностроительные конструкции, предложено постадийный процесс. Этот процесс предполагает определение структуры и параметров тонкостенных машиностроительных конструкций, которые удовлетворяют традиционным критериям и ограничениям. В дальнейшем осуществляется вариативный анализ и строится функция отклика, характеризующая зависимость технико-экономических показателей от варьирования определенной группы параметров. После этого проектные параметры выбираются из условия незначительного изменения технико-экономических показателей при варьировании проектных и экономических условий. Благодаря такой процедуре определяется техническое решение и проектные параметры, которые обеспечивают удовлетворительные технико-экономические показатели для определенной области варьирования всех обстоятельств жизненного цикла изделия.

Ключевые слова: тонкостенная машиностроительная конструкция, инновационный продукт, конструктивные параметры, транспортер, метод конечных элементов

*M. TKACHUK, M. BONDARENKO, R. SHEYCHENKO, O. SHUT, Ya. LISOVOL,
A. ZAVOROTNIY, A. NABOKOV*

THE NEW APPROACH TO DESIGNING OF INNOVATIVE THIN-WALLED STRUCTURES

To determine the rational technical solutions for innovative products, which include thin-walled machine-building constructions, a fast-moving process is proposed. This process involves structure and parameters determining of thin-walled engineering constructions that meet the traditional criteria and constraints. Then the variational analysis is carried out and a response function is constructed, which characterizes dependence of technical and economic factors on parameters variation. After that, design parameters are chosen from condition of slight technical and economic factors change with variation of design and economic conditions. This procedure determines the technical solution and design parameters that provide satisfactory technical and economic performance for a given region of all circumstances variation in the product life cycle.

Keywords: thin-walled engineering structure, innovative product, design parameters, carrier, finite-element method

Вступ. Новітні тенденції при проектуванні, технологічній підготовці виробництва та виготовлення тонкостінних машинобудівних конструкцій (ТСМБК) полягають у тому, щоби забезпечити їхні високі технічні та тактико-технічні характеристики за дотримання певних додаткових умов. Таким чином, формується група критеріальних вимог. Перша з них (традиційно звана функцією якості) визначає показник, який прагнуть зробити екстремальним (мінімізувати чи максимізувати). Друга група – обмеження, які накладаються на створювані конструкції (вимоги до міцності, ступеня деформування, до збудливості коливань тощо). Досить часто ці вимоги формуються у вигляді нормативів, які обов'язкові для задоволення для тих чи інших груп конструкцій. Третя група є, як правило, сукупністю техніко-економічних показників, які визначають конкурентні переваги виробів порівняно із аналогічними або попередниками. Звільнення перших двох груп критеріальних вимог формує традиційну оптимізаційну постановку для визначення проектно технологічних рішень нових ТСМБК. Третя ж група чинників призводить до неоднозначних рішень. Це пояснюється, зокрема, тим, що ця група вимог досить чутлива до економічних обставин, параметрів та характеристик. Дійсно, для цивільних ма-

шин вимагається більш низька вартість виготовлення (критерії виробника), більш висока ефективність експлуатації (для користувача), а також адаптованість до ремонту, експлуатації та утилізації. Крім цих вимог, для машин військового призначення актуальними є питання уніфікації, бойового постачання, авіатранспортабельності тощо.

Таким чином, спільною для критеріальних вимог третьої групи чинників є сильна залежність від вартості матеріалів, спектру можливих та доступних технологічних операцій при виготовленні, наявності відповідного обладнання виробничих потужностей тощо. Усі ці чинники слід приймати до уваги на етапі виготовлення. На етапі експлуатації важливими є, наприклад, рівень споживання електроенергії, паливно-мастильних матеріалів, обсяг витрат на поточне обслуговування та ремонт тощо.

У результаті складається ситуація, коли традиційна постановка та розв'язки задач синтезу втрачають цінність при розв'язанні конкретних задач на практиці: розв'язок, оптимальний за одних значень критеріїв із

© М. А. Ткачук, М. О. Бондаренко, Р. І. Шейченко,
О. Ю. Шуть, Я. М. Лісовол, А. В. Заворотній,
А. В. Набоков, 2019

третьої групи, перестас ним бути за незначних коливань чи то цін на матеріали, чи то експлуатаційних витрат, чи то рівня розвитку інфраструктури тощо. Це становить суттєву перепону при створенні тонкостінних машинобудівних конструкцій.

Таким чином, необхідно здійснювати адаптацію традиційних постановок до розв'язання прикладних задач обґрунтування раціональних технічних рішень інноваційних ТСМБК із урахуванням мінливих техніко-економічних вимог. Це становить зміст цієї роботи.

Аналіз існуючих методів обґрунтування технічних рішень тонкостінних машинобудівних конструкцій. Питання структурної та параметричної оптимізації дуже часто підіймаються у сучасній науково-технічній літературі [1–7]. Розроблений проект приймається або відхиляється після порівняння змінних стану (наприклад, напруження, переміщення, власні частоти тощо) із діючими нормами та вимогами замовника. Після цього проектні змінні можуть змінюватися, і знову здійснюється чисельний аналіз, поки критерій міцності не буде виконаний. Це є первинною задачею процесу проектування.

Останніми роками у багатьох областях науки і техніки набрав популярність метод аналізу поверхні відгуку, який дає можливість скоротити кількість чисельних розрахунків та залучити методи оптимізації, використовуючи для опису залежності змінних стану від проектних змінних поліноміальні моделі різного ступеня точності. Також стає можливим одночасне накладання додаткових вимог (наприклад, за масою, жорсткістю тощо). Завдяки цьому техніка аналізу поверхні відгуку отримала практичне застосування у проектних дослідженнях. Для розв'язання таких задач сьогодні дуже часто застосовують програмні комплекси для скінченно-елементного аналізу, в яких уже реалізовані алгоритми пошуку «найкращої» конструкції [3, 4].

Ще одним підходом до розв'язання задач оптимізації є застосування еволюційного моделювання [5, 6]. Еволюційні алгоритми відрізняються від інших чисельних методів самою стратегією пошуку оптимального розв'язку. Він проводиться в цьому випадку шляхом моделювання розвитку деякої ситуації замість розрахунку за детермінованими залежностями. Методи еволюційного моделювання на теперішній час є дуже популярними і стрімко розвиваються, у тому числі вони знайшли своє застосування і були адаптовані до розв'язання прикладних задач оптимізації просторових тонкостінних конструкцій [7–9].

На противагу традиційним підходам, моделям та засобам у деяких роботах [10–13] пропонуються альтернативні підходи до розв'язання задачі обґрунтування проектно-технологічних параметрів ТСМБК із урахуванням додаткових мінливих техніко-економічних вимог та технології виготовлення. На основі розвитку цих підходів пропонується розв'язувати прикладні задачі для інноваційних ТСМБК.

Підходи, моделі та методи обґрунтування проектно-технологічних рішень інноваційних ТСМБК. Інноваційними є такі вироби, які суттєво переважають існуючі аналоги та попередники насамперед за техні-

ко-економічними показниками, у той же час задовольняючи традиційним та нормативним технічним вимогам. Отже, можна поставити задачу обґрунтування таких рішень для створюваної ТСМБК, які є близькими до оптимальних рішень із точки зору критеріїв першої групи та обмежень – другої (див. вище) за певного варіювання вимог третьої групи (тобто техніко-економічних). Для цього пропонується застосувати підхід, який дає можливість обчислювати чутливість контрольованих характеристика ТСМБК до варіювання цих параметрів.

Для цього будеться поверхня відгуку, яка формується на розв'язанні деякої множини (області) варіюваних параметрів, розв'язок відшукується у області із незначним рівнем чутливості техніко-економічних показників до варіювання техніко-економічних вимог.

Таким чином, задача умовно розділяється на три етапи. На першому етапі на основі аналізу існуючого досвіду евристичним шляхом пропонується більш досконале загальне технічне рішення ТСМБК (тобто структура, основні проектні параметри (постійні та варіювані), області варіювання тих чи інших параметрів). Надалі на другому етапі для дискретної множини техніко-економічних умов визначаються оптимальні параметри ТСМБК. І, нарешті, маючи в розпорядженні множину допустимих розв'язків, відшукується та область параметрів, у якій техніко-економічні критерії (тобто вимоги третьої групи, див. вище) змінюються незначною мірою. Таке поєднання різнотипних етапів, підходів, методів та моделей дає можливість визначати не оптимальне, проте прийнятне технічне рішення для інноваційних ТСМБК, але воно залишається достатньо ефективним у заданому діапазоні варіювання техніко-економічних вимог та обставин.

Запропоновані етапи, підходи, методи, моделі та засоби дають можливість створювати так звані «метамоделі» для тієї чи іншої групи ТСМБК, бази даних і знань та експертні системи для розв'язання поточних та перспективних задач обґрунтування їх ефективних технічних рішень. Ці розробки природним чином інтегруються у технології автоматизованого проектування, технологічної підготовки дослідження та виробництва (CAD/CAM/CAE/PDM), які пронизують увесь життєвий цикл усіх виробів. Такі CAD/CAM/CAE/PDM системи інтегруються із спеціалізованими моделями аналізу чутливості отримуваних рішень до варіювання зовнішніх умов та внутрішніх параметрів. У кінцевому підсумку одержується рішення, стійке до стохастичної, заданої чи цілеспрямованої зміни різних параметрів, умов та вимог.

Розв'язання прикладних задач. Ілюстрація запропонованих підходів здійснена на прикладі задачі обґрунтування раціональних рішень для інноваційних ТСМБК, які є зразками транспорту спеціального призначення. Дослідження здійснюються на моделях, які моделюють корпуси легкоброньованих машин і побудовані оболонковими елементами однієї товщини; але розроблений підхід так само може застосовуватися для проектування тонкостінних елементів справжніх зразків військової техніки, а також ТСМБК цивіль-

ного призначення (наприклад, вагонів, кранів-перевантажувачів, автобусів, тракторів, тощо) [10, 14].

Обґрунтування раціональних конструктивних параметрів для корпусу багатощельового тягача. МТ-Л та МТ-ЛБ – плаваючі тягачі, рис. 1. Одна з вимог, які висуваються до їх конструкції, – зберігати цілісність і виконувати свої функції при зануренні у воду зі збереженням плавучості. Таким чином, щоб спроектований або модернізований корпус відповідав цій вимозі, моделювання знаходження тягача у воді доцільно включати до переліку розрахункових режимів. Розроблена схема навантаження включає дію гідростати-

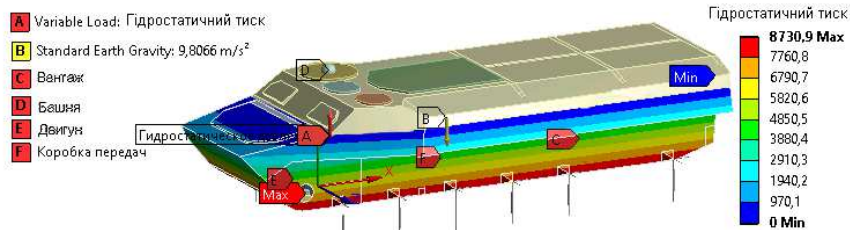


Рисунок 1 – Схема накладання обмежень та навантажень

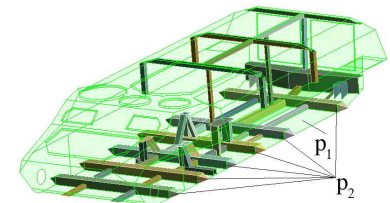


Рисунок 2 – Змінні параметри корпусу

Ставилася задача визначення залежності переміщень, еквівалентних напружень за Мізесом і маси конструкції від товщини його конструктивних елементів. Група параметрів p_1 – товщина листів обшивки днища, яка варіювалася в межах $2-6 \cdot 10^{-3}$ м з кроком 10^{-3} м, p_2 – товщина стінок поперечних швелерів в

нижній частині рами тягача, яка змінювалася в діапазоні $2-10 \cdot 10^{-3}$ м з кроком $2 \cdot 10^{-3}$ м, рис. 2.

На рис. 3 наведені відповідно поверхні відгуку максимальних величин переміщень і напружень, а також маси корпусу на варіювання параметрів p_1, p_2 при дії прикладених зовнішніх навантажень.

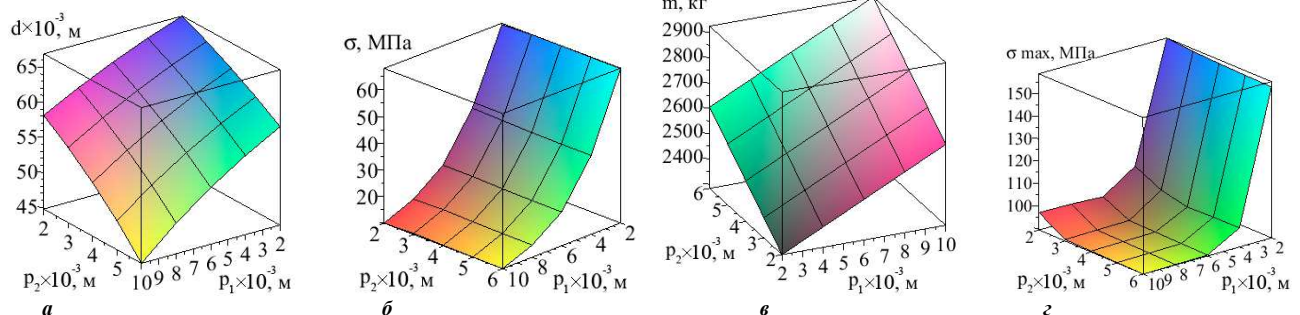


Рисунок 3 – Поверхні відгуку на варіювання конструктивних параметрів корпусу: а – переміщення; б – напруження за Мізесом у деякій точці обшивки корпусу; в – маса; г – максимальні еквівалентні напруження

Видно, що прогини днища різко зростають при зменшенні його товщини. Ще більш різко зростають еквівалентні напруження як у контрольованій точці днища, так і, особливо, максимальні у корпусі. У поєднанні з лінійною залежністю маси корпусу дослідженого тягача від варіювання параметрів отримуємо інформацію для прийняття проектних рішень щодо обґрунтування варіюваних параметрів. Що важливо – цей підхід можна поширити на широкий клас подібних конструкцій.

На рис. 4 представлені характерні розподіли напружень за Мізесом σ , у корпусі з рекомендованими параметрами.

Підвищення характеристик міцності корпусу

легкоброньованої машини. Розглядається макет корпусу транспортера під дією рівномірного тиску величиною 5 кПа, прикладеного до його стінок. З метою статичного визначення встановлені граничні умови закріплення від усіх переміщень точки кріплення одного з коліс; заборона переміщень уздовж поздовжньої і поперечної осей корпусу для точок кріплення інших коліс, рис. 5.

Для варіювання визначено 2 групи параметрів: p_1 – товщини панелей даху і днища корпусу (умовна тестова), p_2 – панелі боковин корпусу – з інтервалом варіювання $3-7 \cdot 10^{-3}$ м (умовна тестова).

Оцінка міцності та прийняття проектних рішень здійснювалися на основі побудови і дослідження поверхонь відгуку (переміщення, еквівалентні напру-

ження і маса конструкції) при варіюванні проектних параметрів, рис. 6.

Пошук раціональних проектних рішень здійснювався з метою зниження напружень та прогинів в конструкції корпусу, а також із урахуванням необхідності забезпечення найменшого відхилення одержаних значень параметрів від номінальних, рис. 7.

Для оцінки ефективності розробленого підходу розглянута задача обґрунтування параметрів корпусу транспортера була поставлена у середовищі програмного комплексу ANSYS Workbench, рис. 8. Застосувавши до цієї функції якості методи оптимізації, знаходимо мінімум, який відповідає точці (0,0047; 0,0035; 0,7667624035), траєкторію пошуку розв'язку наведено на рис. 8.

Рекомендований розв'язок (відмічений найбіль-

шою кількістю зірочок) знаходиться у точці (0,0048; 0,0038; 0,68316), рис. 9. При цьому точне значення цільової функції, отримане у результаті проведення процедури «верифікації» – повторного розв'язку при рекомендованих значеннях параметрів – (0,0048; 0,0038; 0,87372), рис. 6. Це дозволяє судити про похибку застосованих методів. Ітераційний процес пошуку оптимальних параметрів, що забезпечують мінімальне значення функції якості, в ANSYS представлений на рис. 10. Порівнюючи картини розподілу переміщень і напружень у корпусі бронетранспортера зі значеннями параметрів, обґрунтованими за допомогою запропонованого підходу та у програмному комплексі ANSYS, спостерігаємо незначну розбіжність результатів, рис. 11, 12.

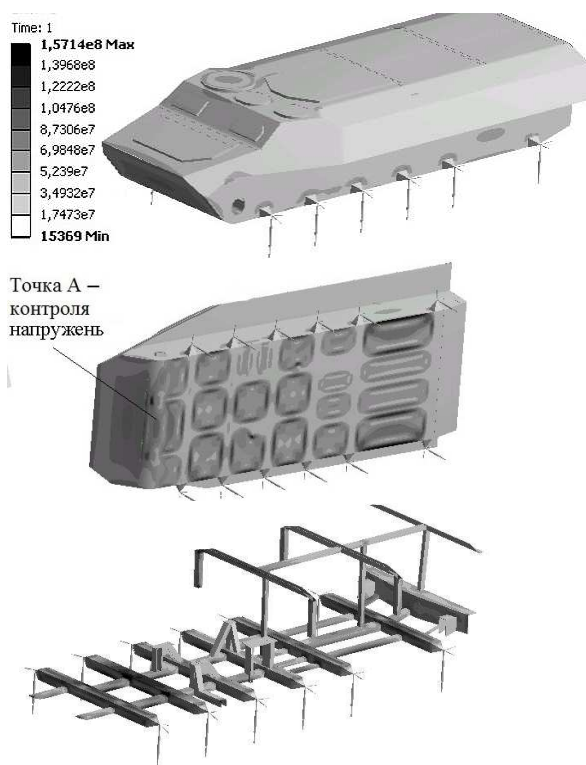


Рисунок 4 – Розподіли напружень за Мізесом у корпусі тягача при $p_1=2 \cdot 10^{-3}$ м та $p_2=6 \cdot 10^{-3}$ м

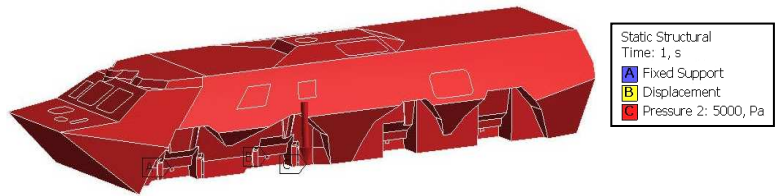


Рисунок 5 – Крайові умови задачі

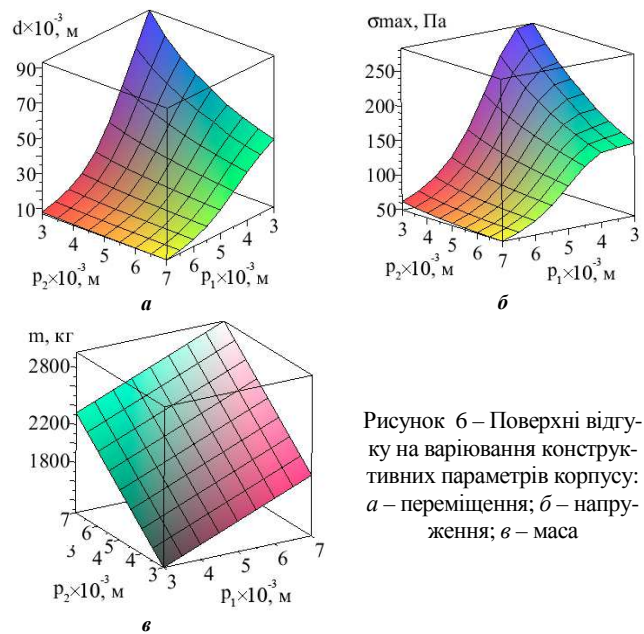


Рисунок 6 – Поверхні відгуку на варіювання конструктивних параметрів корпусу: а – переміщення; б – напруження; в – маса

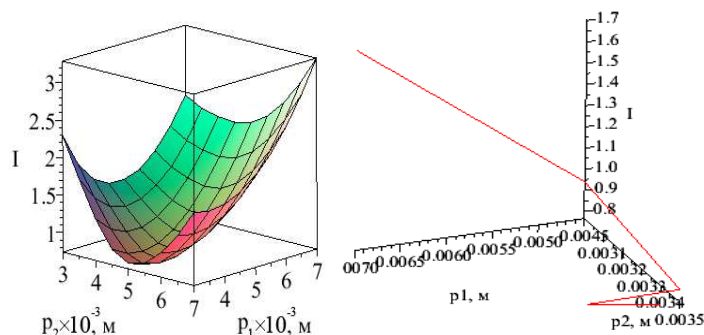


Рисунок 7 – Функція якості $I(p)$, що підлягає мінімізації, та траєкторія пошуку мінімуму

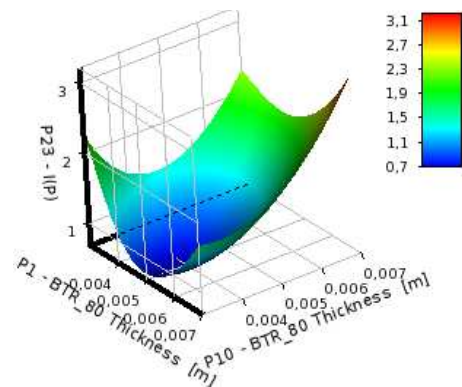


Рисунок 8 – Функція якості, побудована в ANSYS

	Candidate Point 1	Candidate Point 1 (verified)
P1 - BTR_80 Thickness (m)		0,0048355
P10 - BTR_80 Thickness (m)		0,0037984
P23 - I(P)	★ ★ ★ 0,68316	★ ★ ★ 0,87372

Рисунок 9 – Розв'язання задачі оптимізації в ANSYS

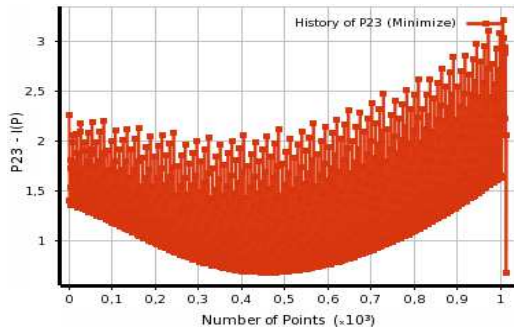


Рисунок 10 – Ітераційний процес мінімізації

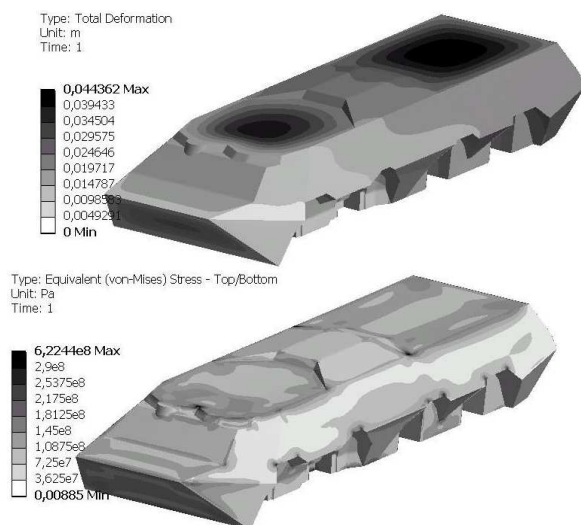


Рисунок 11 – Результати аналізу НДС корпусу зі значеннями оптимальних параметрів, знайденими за допомогою запропонованого в роботі алгоритму

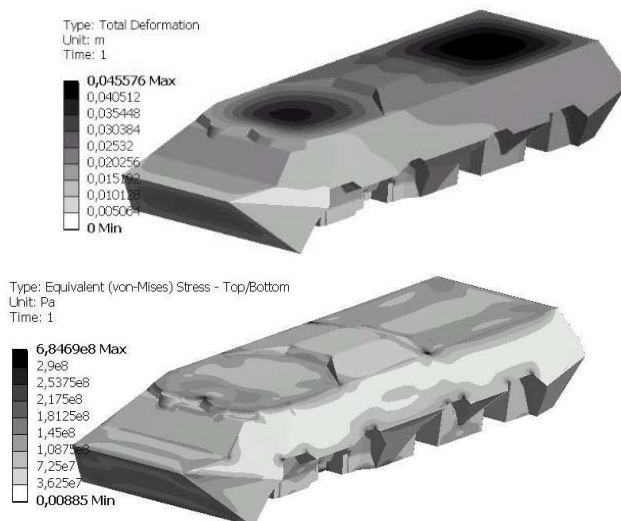


Рисунок 12 – Результати аналізу НДС корпусу зі значеннями оптимальних параметрів, знайденими засобами ANSYS

Висновки. У роботі запропоновано підхід до обґрунтування проектно-технологічних параметрів тонкостінних машинобудівних конструкцій, який поєднує етапи евристичного визначення структури інноваційних конструкцій та їх параметричного синтезу із залученням технічних та економічних критеріїв та обмежень. Розроблений підхід має перспективи застосування для широкого класу інноваційних тонкостінних машинобудівних конструкцій та уможливорює підвищення технічних характеристик до рівня кращих світових зразків.

Список літератури

1. Кіндрацький Б.І. Концепція і алгоритм багатокритеріального структурно-параметричного синтезу машинобудівних конструкцій. *Вісник ТДТУ імені Івана Пулюя*. 2003. Том 8, № 1. С.73–82.
2. Симсон Э.А., Назаренко С.А., Прево И.Д. Методы анализа и оптимизации нагруженных элементов технологических систем. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Харків: НТУ «ХПІ». 2014. № 42. С. 187–192.
3. Neittaanmäki P., Repin S., Tuovinen T. *Mathematical Modeling and Optimization of Complex Structures*. Switzerland: Springer, 2016. 328 p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23564-6>.
4. Zarchi M., Attaran B. Performance improvement of an active vibration absorber subsystem for an aircraft model using a bees algorithm based on multi-objective intelligent optimization. *Engineering Optimization*. 2017. Vol. 49, No. 11. P. 1905–1921.
5. Ashlock D. *Evolutionary Computation for Modeling and Optimization*. New York: Springer, 2010. 572 p.
6. Аверченков В.И., Казаков П.В. *Эволюционное моделирование и его применение: монография*. 2-е изд. М.: ФЛИНТА, 2011. 200 с.
7. Lagaros N.D., Papadrakakis M., Kokossalakis G., Lagaros N.D. Structural optimization using evolutionary algorithms. *Computers and Structures*. 2002. № 80. P. 571–589.
8. Ghasemi M.R., Yousefi M. Reliability-based optimization of steel frame structures using modified genetic algorithm. *Asian Journal of Civil Engineering*. 2011. № 12. P. 449–475.
9. Magalhães-Mendes J., Greiner D. *Evolutionary algorithms and metaheuristics in civil engineering and construction management*. Switzerland: Springer, 2015.
10. Tkachuk M., Bondarenko M., Grabovskiy A., Vasiliev A., Sheychenko R., Graborov R., Posohov V., Lunyov E., Nabokov A. Thin-walled structures: analysis of the stressed-strained state and parameter validation. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Харків: УДАЗТ. 2018. 1/7 (91). С. 18–29.
11. Гусев Ю. Б., Шейченко Р. И., Граборов Р.В., Бондаренко М. А., Танченко А. Ю., Ткачук Н. А., Набоков А. В., Лунев Е.О. Компьютерное моделирование в процессе обоснования технических решений при проектировании инновационных изделий. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Харків: НТУ «ХПІ». 2017. № 5. С. 95–107.
12. Бондаренко М. О. Методи оптимізації із застосуванням поєрхонь відгуку, адаптовані до розв'язання задач аналізу та синтезу конструктивних параметрів тонкостінних машинобудівних конструкцій. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Харків: НТУ «ХПІ». 2016. № 42. С. 22–28.
13. Бондаренко М. О., Гречка І.П., Хованський С.О. Обґрунтування раціональних параметрів тонкостінних конструкцій у ході проектних досліджень. *Prospects for the development of technical sciences in EU countries and Ukraine: international scientific and practical conference*. Wloclawek: «Baltija Publishing». 2018. С.149.
14. Ткачук М.А. Забезпечення міцності тонкостінних конструкцій із підвищеними технічними характеристиками / М.А. Ткачук, Р.І.Шейченко, М.О. Бондаренко, М.М. Ткачук, А.В. Грабовський, А.Ю. Танченко, В.В. Шеманська, О.Ю. Шуть // *Вісник Національного*

ного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Харків: НТУ «ХПІ». 2019. № 7(1332). С. 95–105.

References (transliterated)

1. Kindratskiy B.I. Kontseptsiya i algoritm bagatokriterialnogo strukturno-parametrichnogo sintezu mashinobudivnih konstruktsey [Concept and algorithm of multicriteria structural-parametric synthesis of machine-building constructions]. *Visnik TDTU Imeni Ivana Pulyuya* [Bulletin of the TDTU Imeni Ivana Pulyuya], 2003, Tom 8, no. 1, pp.73–82.
2. Simson E.A., Nazarenko S.A., Prevo I.D. Metody analiza i optimizatsii nagruzhennykh elementov tehnologicheskikh sistem [Analysis and optimization methods of technological systems loaded elements]. *Visnik nats. tehn. un-tu «Khark. politehn. in-t»* [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute], Kharkiv, NTU «KhPI», 2014, no. 42, pp. 187–192
3. Neittaanmaki P., Repin S., Tuovinen T. *Mathematical Modeling and Optimization of Complex Structures*, Switzerland, Springer, 2016. 328 p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23564-6>.
4. Zarchi M., Attaran B. Performance improvement of an active vibration absorber subsystem for an aircraft model using a bees algorithm based on multi-objective intelligent optimization. *Engineering Optimization*, 2017. Vol. 49, no. 11, pp. 1905–1921.
5. Ashlock D. *Evolutionary Computation for Modeling and Optimization*, New York, Springer, 2010, 572 p.
6. Averbchenkov V.I., Kazakov P.V. *Evolutsionnoe modelirovanie i ego primenenie: monografiya*. 2-e izd [Evolutionary modeling and its application: monograph], Moscow, FLINTA, 2011, 200 p.
7. Lagaros N.D., Papadrakakis M., Kokossalakis G., Lagaros N.D. Structural optimization using evolutionary algorithms. *Computers and Structures*, 2002, no. 80, pp. 571–589.
8. Ghasemi M.R., Yousefi M. Reliability-based optimization of steel frame structures using modified genetic algorithm. *Asian Journal of civil Engineering*, 2011, no. 12, pp. 449–475.
9. Magalhaes-Mendes J., Greiner D. *Evolutionary algorithms and metaheuristics in civil engineering and construction management*. Switzerland, Springer, 2015.
10. Tkachuk M., Bondarenko M., Grabovskiy A., Vasiliev A., Sheychenko R., Graborov R., Posohov V., Lunyov E., Nabokov A. Thin-walled structures: analysis of the stressed-strained state and parameter validation. *Shidno-Evropeskiy zhurnal peredovih tehnologiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], Kharkiv, UDAZT, 2018, 1/7 (91), pp. 18–29.
11. Gusev Yu. B., Sheychenko R. I., Graborov R.V., Bondarenko M. A., Tanchenko A. Yu., Tkachuk N. A., Nabokov A. V., Lunev E.O. Kompyuternoe modelirovanie v protsesse obosnovaniya tehnicheskikh resheniy pri proektirovanii innovatsionnykh izdeliy [Computer simulation in process of substantiating technical solutions in the design of innovative products], *Visnik nats. tehn. un-tu «Khark. politehn. in-t»* [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute], Kharkiv, NTU «KhPI», 2017, no. 5. pp. 95–107.
12. Bondarenko M. O. Metodi optimizatsiyi iz zastosuvanniam poverhon vidguku, adaptovanl do rozv'yazannya zadach analizu ta sintezu konstruktivnih parametriv tonkostinnykh mashinobudivnih konstruktsey. *Visnik nats. tehn. un-tu «Khark. politehn. in-t»* [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute], Kharkiv, NTU «KhPI», 2016, no. 42. pp. 22–28.
13. Bondarenko M. O., Grechka I.P., Hovanskiy S.O. Obgruntuvannya ratsionalnih parametriv tonkostinnykh konstruktsey u hodi proektnih doslidzen [Rational parameters justification of thin-walled structures in course of design studies]. *Prospects for the development of technical sciences in EU countries and Ukraine: international scientific and practical conference*, Wloclawek, «Baltija Publish-ing», 2018, p.149.
14. Tkachuk M.A., Sheychenko R.I., Bondarenko M.O., Tkachuk M.M., Grabovskiy A.V., Tanchenko A.Iu., Shemanska V.V., Shut O.Iu. Zabezpechennia mitsnosti tonkostinnykh konstruktsiy iz pidvyshchenymy tekhnichnymy kharakterystykamy. *Visnik nats. tehn. un-tu «Khark. politehn. in-t»* [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute], Kharkiv, NTU «KhPI», 2019, no. 7(1332), pp. 95–105.

Надійшла (received) 05.12.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ткачук Микола Анатолійович (Ткачук Николай Анатольевич, Tkachuk Mykola) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин»; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4174-8213>; тел.: (057) 707-69-02; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Бондаренко Марина Олександрівна (Бондаренко Марина Александровна, Bondarenko Maryna) – кандидат технічних наук (PhD.), Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», молодший науковий співробітник кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин»; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1856-3648>; тел.: (057) 707-69-02; e-mail: marina.bondarenko@tmm-sapr.org.

Шейченко Роман Ігоревич (Шейченко Роман Игоревич, Sheychenko Roman) – головний конструктор проекту вагонів-цистерн ТОВ Науково-інженерний центр КК «РейлТрансХолдинг»; м. Маріуполь, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7925-3673>; тел.: (057) 707-69-02; e-mail: sheychenko@urtg.net.

Шуть Олександр Юрійович (Шуть Александр Юрьевич, Shut Oleksandr) – заступник головного інженера, ДП «Завод ім. В.О. Малишева»; м. Харків, Україна; тел.: (ЛЮ57) 707-69-02.

Лисовол Яна Миколаївна (Лисовол Яна Николаевна, Lisovol Yana) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин»; м. Харків, Україна; тел.: (057) 707-69-02; e-mail: yana.lisovol@gmail.com.

Заворотній Антон Валерійович (Заворотний Антон Валерьевич, Zavorotnii Anton) – заст. генерального директора, ДП "Завод ім. В.О. Малишева", м. Харків, Україна; тел.: (057) 707-69-02.

Набоков Анатолій Володимирович (Набоков Анатолий Владимирович, Nabokov Anatoliy) – аспірант, «Харківський політехнічний інститут», кафедра «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин»; м. Харків, Україна, e-mail: avnabokov@gmail.com.