

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Шейченко Роман Ігорович

УДК 539.3

ДИСЕРТАЦІЯ

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ
ПІДВИЩЕНИМИ ТЕХНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

05.02.09 – динаміка та міцність машин

13 – механічна інженерія

Подается на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Р. І. Шейченко



*Головний секретар
зв'язком з іншими
авторами дисертації засвідчую.*
*Головний секретар
всередині великої
ради Двч. 050.10*
Марин О.О.
26.09.2018р.

Науковий керівник
Ткачук Микола Анатолійович,
доктор технічних наук, професор

АНОТАЦІЯ

Шейченко Р.І. Забезпечення міцності тонкостінних конструкцій із підвищеними технічними характеристиками.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.02.09 "Динаміка та міцність машин" (13 – Механічна інженерія). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2019.

Потреби сучасної промисловості, транспорту і сфери послуг у інноваційних виробках із підвищеними техніко-економічними характеристиками останнім часом різко зростають. При цьому велику частку серед такої продукції займають тонкостінні машинобудівні конструкції, у яких раціонально поєднуються масові і характеристики міцності. У той же час на багато виробів (літаки, судна, рухомий склад залізниць, крани, перевантажувачі, ємності високого тиску, апарати хімічної промисловості, устаткування агропромислового комплексу) поширюються суворі офіційні правила і норми, спрямовані, у першу чергу, на забезпечення безпеки експлуатації. Відповідно, при проектних дослідженнях використовуються усталені методики розрахунку, а також традиційні технічні рішення. Незважаючи на тиск сталої практики, що схиляється до створення виробів у вигляді «клонів» давно створених аналогів, діє також протилежна тенденція. Вона породжується загальним прагненням до прогресу, навіть у консервативних областях діяльності, а також економічними міркуваннями. Більш того, багато споживачів інноваційних виробів установлюють свої додаткові вимоги до продукції, що спрямовані на продовження терміну служби конструкцій, підвищення їхньої продуктивності, інтенсивності експлуатаційних режимів або навантажувальної здатності. У цих обставинах, окрім нормативних обмежень, з'являються додаткові, що ускладнює виконання вимог до проєктованих конструкцій.

Таким чином, виникла і посилюється у своїй актуальності та важливості науково-практична задача розробки методів забезпечення міцності інноваційних тонкостінних машинобудівних конструкцій при дії комплексу експлуатаційних

навантажень. Її постановка, розв'язання та впровадження у практику проектних досліджень складала мету, зміст і напрями дисертаційних досліджень.

У дисертаційній роботі розв'язана науково-технічна задача, яка полягає в удосконаленні методів і моделей для проектного забезпечення міцності тонкостінних машинобудівних конструкцій при дії комплексу експлуатаційних навантажень.

У роботі для аналізу напружено-деформованого стану тонкостінних машинобудівних конструкцій застосовуються співвідношення теорії пружності і методу скінченних елементів. Формування геометричної форми досліджуваних конструкцій здійснювалося методами твердотільного і поверхневого моделювання. Для варіативної зміни структури і розмірів досліджуваних об'єктів адаптовано і розвинено метод узагальненого параметричного моделювання стосовно інноваційних тонкостінних машинобудівних конструкцій. Експериментальні дослідження здійснювалися методами тензометрії та акселерометрії.

У ході виконання дисертаційного дослідження отримано наступні наукові результати: 1) проведено аналіз умов експлуатації, нормативних вимог, а також методів розрахунку тонкостінних машинобудівних конструкцій з урахуванням обмежень на міцність, і на цій основі визначені напрями дисертаційних досліджень; 2) удосконалено методи і моделі для обґрунтування проектних параметрів інноваційних тонкостінних машинобудівних конструкцій за критеріями міцності при дії комплексу експлуатаційних навантажень із урахуванням нормативних обмежень; 3) здійснено розв'язання низки прикладних задач проектного обґрунтування технічних рішень для тонкостінних машинобудівних конструкцій за критеріями міцності та довговічності; 4) здійснено розрахунково-експериментальні дослідження напружено-деформованого стану інноваційних тонкостінних машинобудівних конструкцій, які спроектовано на основі рекомендацій із застосуванням результатів дисертаційних досліджень; 5) впроваджено результати досліджень у виробництво.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробці нового удосконаленого підходу, методів і моделей для проектного забезпечення міцності

тонкостінних машинобудівних конструкцій при дії комплексу експлуатаційних навантажень із урахуванням нормативних обмежень, а також додаткових ринкових критеріїв до варіантів їх технічних рішень. У ході досліджень розв'язано низку нових наукових задач і отримано наступні нові результати:

1. Уперше поставлена і отримала завершене формулювання на основі параметричного підходу проблема обґрунтування проектно-технологічних рішень інноваційних тонкостінних машинобудівних конструкцій як задача двостадійного пошуку: на першій стадії на основі евристичних підходів визначаються основні структурні та загальнокомпонувальні рішення інноваційних виробів, а на другій стадії обґрунтовуються окремі параметри за критеріями забезпечення міцності та підвищення техніко-економічних характеристик. Це дає змогу, на відміну від традиційних підходів, здійснювати синтез нових, більш досконалих технічних рішень ТСМБК із підвищеними характеристиками міцності.

2. Удосконалена множина проектних критеріїв і обмежень тонкостінних машинобудівних конструкцій (на додаток до нормативно встановлених), яка поповнена ще й техніко-економічними вимогами, які продиктовані конкретними умовами ринку і потребами експлуатантів. Це створює додаткові конкурентні переваги створюваних тонкостінних машинобудівних конструкцій, причому як у виробника, так і у експлуатанта. На цій основі встановлено залежності характеристик міцності окремих тонкостінних машинобудівних конструкцій від їхніх проектно-технологічних параметрів.

3. Удосконалено метод розрахунково-експериментальної верифікації розрахункових моделей інноваційних тонкостінних машинобудівних конструкцій, який залучає, на відміну від традиційних, як джерела інформації етап обов'язкових сертифікаційних випробувань і додаткові дослідження з метою визначення діючих експлуатаційних навантажень. Це дає можливість підвищити ступінь адекватності моделей, точності отримуваних результатів і достовірності рекомендацій, що розробляються.

У роботі обґрунтування раціональних параметрів і конструктивних рішень тонкостінних машинобудівних конструкцій здійснюється за критеріями зменшення

маси, зниження напружень, підвищення терміну експлуатації. При цьому можуть бути враховані також додаткові критерії, такі як вартість, технологічність, економія, енергоефективність.

Узагальненими варійованими параметрами виступають структура, проектно-технологічні рішення ТСМБК, конструктивні параметри і експлуатаційні режими. При цьому забезпечується розв'язання задач одиничного аналізу, багатоваріантних досліджень, а також обґрунтування раціональних проектно-технологічних рішень.

На розвиток відомих підходів поставлені наступні нові типи задач, що виникають при обґрунтуванні технічних рішень інноваційних тонкостінних машинобудівних конструкцій: уніфікація, доцільність, аналіз ефективності – у випадку розглянутої множини об'єктів; ідентифікація навантажень, верифікація – на основі проектних досліджень і експериментальних даних; задачі прогнозування та відлаштування, що базуються на аналізі даних про спроектовані, випробувані та сертифіковані об'єкти. Ці задачі розширюють множину традиційних задач синтезу, враховуючи реальні ситуації серійності виробів, що випускаються, уніфікації, вартості тощо. Розроблений підхід має практичне застосування. Він дає можливість розв'язувати перераховані різнотипні задачі, що є його головною перевагою.

Запропоновані методи розрахунку напружено-деформованого стану тонкостінних машинобудівних конструкцій алгоритмізовані на основі поєднання переваг універсальних і спеціальних систем.

Використовуючи розроблений підхід, розроблені рекомендації щодо раціонального проектування тонкостінних елементів вантажних вагонів та кранів-перевантажувачів. Так, майже на 10% поліпшено коефіцієнт тари вагонів-цистерн для перевезення розплавленої сірки і універсального вагону-платформи, а також вантажопідйомність крану-перевантажувача. Крім того, забезпечено підвищення до 25% терміну служби цих виробів порівняно із початковими варіантами і виробами конкурентів. Економічний ефект від впровадження результатів роботи досягається за рахунок скорочення термінів і зниження вартості проектних розробок і складає 650,2 тис. грн. Впровадження результатів роботи здійснено на підприємствах управляючої компанії «РейлТрансХолдинг», а також у НТУ «ХП». Потенційну

цінність представляють дані розробки для впровадження в НДІ, КБ і безпосередньо на підприємствах, які займаються проектуванням, виготовленням і експлуатацією інноваційних тонкостінних машинобудівних виробів, які відрізняються істотно більш високими технічними характеристиками, ніж у початкових їх варіантів, а також у аналогів. Це відноситься до тонкостінних машинобудівних конструкцій, які використовують на транспорті, в хімічній, будівельній, гірничошахтній промисловості, в агропромисловому виробництві та інших галузях.

Ключові слова: міцність машин, напружено-деформований стан, тонкостінна машинобудівна конструкція, параметрична модель, метод скінченних елементів, проектно-технологічне рішення, вагон-цистерна, вагон-платформа, кран-перевантажувач.

Список публікацій здобувача

1. Шейченко Р.И. Метод линеаризации поверхности отклика в задаче обоснования проектных параметров тонкостенных элементов машиностроительных конструкций/ А.В. Литвиненко, Р.И. Шейченко, Р.В. Граборов, М.А. Бондаренко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 31. – С. 88–98.

2. Шейченко Р.И. Экспериментальные исследования грузового вагона / А.Д. Чепурной, А.В. Литвиненко, А.Н. Баранов, Р.И. Шейченко, М.А. Бондаренко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – №22. – С. 44–61.

3. Шейченко Р.И. Билинеаризация поверхности отклика в оптимизационных исследованиях тонкостенных элементов машиностроительных конструкций / М.А. Бондаренко, Р.И. Шейченко, Р.В. Граборов, Д.Г. Шинкин, Д.В. Киричук // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 1. – С. 18–23.

4. Шейченко Р. И. Вдосконалення методів дослідження кузовів вагонів під дією експлуатаційних навантажень / М.О. Чубань, Р.І. Шейченко, А.В. Середа, Д.Г. Шинкін // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції, Ч. I – Харків, НТУ «ХПІ», 2015 р. – С. 234.

5. Шейченко Р.И. Ходовые прочностные и динамические испытания вагона-платформы / А.Д. Чепурной, А.В. Литвиненко, Р.И. Шейченко, Р.В. Граборов, М.А. Чубань // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – №31. – С. 111–128.

6. Шейченко Р.И. Модели аппроксимации поверхности отклика в оптимизационных исследованиях машиностроительных конструкций / М.А. Чубань, Р.И. Шейченко, Р.В. Граборов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62. – С. 46–51.

7. Шейченко Р. И. Методологические основы расширенных прочностных и динамических исследований при испытаниях длиннобазных платформ / А.Д. Чепурной, В.И. Сенько, С.В. Макеев, Р.И. Шейченко, Р.В. Граборов, Н.А. Ткачук // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – №1. – С. 67–81.

8. Пат. на корисну модель UA 97543 U, МПК B61D 3/00, B61F 1/08. Багатоцільовий залізничний вагон-платформа / С.О. Шпак, А.Д. Чепурний, О.В. Литвиненко, Л.Ю. Полетун, А.П. Копілаш, Р.І. Шейченко, О.К. Шевченко; Власник ООО УК "РейлТрансХолдинг", заявл. 01.09.2014; опубл. 25.03.2015. – Бюл. № 6.

9. Шейченко Р.І. Вплив варіювання проектних параметрів на характеристики міцності та жорсткості корпусів легкоброньованих машин / М.А. Чубань, А.М. Малакей, Р.І. Шейченко, О.О. Атрошенко, І.В. Мазур, В.В. Дураченко // Наукове забезпечення службово-бойової діяльності

Національної гвардії України: Тези доповідей VII науково-практичної конференції. – Харків, НАНГУ, 2016. – С. 155–156.

10. Шейченко Р.И. Обоснование проектно-технологических решений при проектировании инновационных образцов подвижного состава железных дорог / А.Д. Чепурной, А.В. Литвиненко, Р.И. Шейченко, Р.В. Граборов, М.А. Чубань, Н.А. Ткачук // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції, Ч. I – Харків, НТУ «ХПІ», 2016. – С. 234.

11. Шейченко Р.И. Испытания вагона-платформы универсальной / В.И. Сенько, С.В. Макеев, А.Д. Чепурной, А.В. Литвиненко, Р.И. Шейченко, Р.В. Граборов, Н.А. Ткачук, М.А. Чубань // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12. – С.71–83.

12. Шейченко Р.И. Функциональные испытания перспективного вагона-цистерны для перевозки расплавленной серы модели 15-9544 / В.В. Галов, С.Б. Комиссаров, Р.В. Граборов, Р.И. Шейченко, М.А. Чубань // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – №39. – С. 50–55.

13. Пат. на винахід UA 114195 C2 МПК B61D 5/00, B65D 88/54, B65D 88/74, F17C 3/06, B67D 7/80 Вагон-цистерна для затверділих продуктів / С.О. Шпак, А.Д. Чепурний, О.В. Литвиненко, Л.Ю. Полетун, Л.М. Клопков; Власник ООО УК "РейлТрансХолдінг", заявл. 20.10.2014; опубл. 10.05.2017. – Бюл. №9.

14. Пат. на корисну модель UA 115987 U, МПК B61D 5/00. Залізничний вагон-цистерна / С.О. Шпак, А.Д. Чепурний, О.В. Литвиненко, В.С. Марінюк, Р.І. Шейченко, О.В. Морозюк, Д.В. Степанов, Р.В. Граборов, М.О. Чубань; Власник ООО УК "РейлТрансХолдінг", заявл. 01.08.2016; опубл. 10.05.2017. – Бюл. № 9.

15. Пат. на винахід UA 115997 C2 МПК B61D 5/00, B65D 88/54, B65D 88/74, F17C 3/06, B67D 7/80. Вагон-цистерна для затверділих продуктів /

С.О. Шпак, А.Д. Чепурний, О.В. Литвиненко, Л.Ю. Полетун, Л.М. Клопков; Власник ООО УК "РейлТрансХолдинг", заявл. 20.04.2015; опубл. 25.01.2018. – Бюл. №2.

16. Пат. на винахід UA 116006 C2 МПК B61D 5/00, B65D 88/74 Вагон-цистерна для затверділих продуктів / С.О. Шпак, А.Д. Чепурний, О.В. Литвиненко, Л.Ю. Полетун, Л.М. Клопков; Власник ООО УК "РейлТрансХолдинг", заявл. 14.08.2015; опубл. 25.01.2018. – Бюл. №2.

17. Шейченко Р.И. Инновационные тонкостенные конструкции: обоснование проектно-технологических параметров / М. А. Бондаренко, А. В. Литвиненко, Ю. Б. Гусев, Р. И. Шейченко, Р. В. Граборов, А. Д. Чепурной // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції, Ч. I. – Харків, НТУ «ХПІ», 2017. – С. 166.

18. Sheychenko R. Analysis and synthesis of complex spatial thin-walled structures / A. Marchenko, A. Chepurnoy, V. Sen'ko, S. Makeev, O. Litvinenko, R. Sheychenko, R. Graborov, M. Tkachuk, M. Bondarenko // Proceedings of the Institute of Vehicles. – Warsaw: Institute of Vehicles of Warsaw University of Technology. – 2017. – №. 1 (110). – P. 17–29.

19. Шейченко Р.И. Компьютерное моделирование в процессе обоснования технических решений при проектировании инновационных изделий / Ю.Б. Гусев, Р.И. Шейченко, Р.В. Граборов, М.А. Бондаренко, А.Ю. Танченко, Н.А. Ткачук, А.В. Набоков, Е.О. Лунев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 5. – С. 95–107.

20. Шейченко Р.И. Экспериментальные исследования тонкостенных конструкций / Ю.Б. Гусев, Р.И. Шейченко, Н.А. Ткачук, А.Ю. Танченко, А.В. Грабовский, А.В. Набоков, М.А. Бондаренко, А.М. Головин, В.В. Шеманская // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 14. – С. 140–155.

21. Шейченко Р.И. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния инновационных тонкостенных машиностроительных конструкций / Р. И. Шейченко, Н. А. Ткачук, М. А. Бондаренко, Е.А. Лунев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 12. – С. 137–145.

22. Шейченко Р. І. Численные исследования грузового вагона / А.Д. Чепурной, Р.И. Шейченко, Р.В. Граборов, М.А. Ткачук, М.А. Бондаренко, А.В. Грабовський, Є.О. Луньов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23. – С. 47–55.

23. Шейченко Р.И. Инновационные изделия: разработка, исследования, оптимизация / Н.А. Ткачук, А.Д. Чепурной, Р.И. Шейченко, Р.В. Граборов, М.А. Бондаренко, М.С. Саверская, Е.А. Лунев. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 25. – С. 153–159.

24. Шейченко Р.И. Инновационный вагон-цистерна для перевозки легковесных химических продуктов / А.Д. Чепурной, Р.И. Шейченко, Р.В. Граборов, Н.А. Ткачук, М.А. Бондаренко, А.В. Грабовський, Е.А. Лунев, А.В. Ткачук, А.В. Набоков, Л.Н. Бондаренко // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – №1. – С. 183–195.

25. Шейченко Р.И. Решение задач анализа и синтеза сложных пространственных тонкостенных конструкций / А.Д. Чепурной, В.И. Сенько, С.В. Макеев, А.В. Литвиненко, Р.И. Шейченко, Р.В. Граборов, Н.А. Ткачук, М.А. Бондаренко // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – Гомель: БГУТ. – 2017. – №2. – С. 152–162.

26. Sheychenko R. Thin-walled structures: analysis of the stressed-strained state and parameter validation / М. Tkachuk, М. Bondarenko, А. Grabovskiy, А. Vasiliev, R. Sheychenko, R. Graborov, V. Posohov, E. Lunyov, А. Nabokov // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків: УДАЗТ. – 2018 – 1/7 (91) – С. 18–29.

ABSTRACT

Sheychenko R.I. Strength assurance of thin-walled structures with increased technical characteristics. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

Thesis for candidate of technical science degree (Philosophy Doctor) in speciality 05.02.09 – Dynamics and Strength of Machines (13 – mechanical engineering). – National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkiv, 2019.

The needs of modern industry, transport and services in innovative products with increased technical and economic characteristics have recently been increasing dramatically. Large proportion of such products are thin-walled engineering structures, which rationally combine mass and strength characteristics. At the same time, strict rules and regulations are applied to many products (aircraft, ships, rolling stock, cranes, reloaders, high-pressure vessels, chemical industry equipment, agricultural equipment) for ensure the operation safety. Accordingly, design studies use established computational methods, as well as traditional technical solutions. In spite of pressure of established practice, which tends to create products as "clones" of long-created analogues, opposite trend also applies. It is generated by general aspiration for progress, even in conservative areas of activity, as well as economic considerations. Moreover, many consumers of innovative products set their additional requirements for products aimed at extending service life of structures, increasing their productivity, intensity of operating modes or load capacity. In these circumstances, in addition to regulatory restrictions, there are additional ones, which complicates the requirements fulfillment for projected designs.

Thus, the scientific and practical task of developing methods for strength ensuring of innovative thin-walled engineering structures under action of operating loads complex has appeared and is intensified in its urgency and importance. Its formulation, solution and implementation to design studies practice is goal, content and directions of dissertation research.

In the dissertation work the scientific and technical problem is solved, which consists in methods and models improvement for strength ensurance of thin-walled engineering structures under action of operational loads complex.

In the work for stress-strain state analysis of thin-walled engineering structures the theory of elasticity ratios and the finite element method are used. Geometric shape formation of investigated structures was carried out by methods of solid state and surface modeling. For structure and size variation of studied objects, the method of generalized parametric modeling for innovative thin-walled engineering structures is adapted and developed. Experimental studies were carried out using strain gauge and accelerometer methods.

In course of dissertation research the following scientific results were obtained: 1) an analysis of operating conditions, regulatory requirements, as well as analysis methods of thin-walled engineering structures taking into account the constrains on durability, and on this basis, the dissertation research directions were determined; 2) methods and models for design parameters justification of innovative thin-walled engineering structures according to strength criteria under action of operational loads complex, taking into account regulatory constraints are improved; 3) solution of a number of applied tasks of technical solutions substantiation for the thin-walled engineering structures according to strength and durability criteria; 4) computational and experimental studies of stress-strain state of innovative thin-walled engineering structures that are designed on the basis of recommendations with application of dissertation research results; 5) research results are introduced into production.

Scientific novelty of obtained results is the development of new improved approach, methods and models for strength ensurance of the thin-walled engineering structures under action of operating loads complex, taking into account regulatory constraints, as well as additional market criteria for technical solutions. During research a number of new scientific problems are solved and the following new results are obtained:

1. For the first time, the problem of substantiation of design and technological solutions of innovative thin-walled engineering structures is posed and formulated on

the basis of parametric approach as a two-step search problem: in the first stage, based on heuristic approaches, main structural and general solutions for innovation products are determined, while in the second stage certain parameters are substantiated on strength criteria and improvement of technical and economic characteristics. This allows, unlike traditional approaches, to synthesize new, more advanced technical solutions of thin-walled engineering structures with increased durability.

2. Set of project criteria and constraints for thin-walled engineering structures is improved (in addition to the normative ones), which is complemented also by technical and economic requirements, dictated by specific market conditions and operator's needs. This creates additional competitive advantages of thin-walled engineering structures constructed, both from the manufacturer and the operator. On this basis, the dependence of strength characteristics of individual thin-walled engineering structures on their design and technological parameters was established.

3. Computational and experimental verification method of models of innovative thin-walled engineering structures is improved, which, in contrast to traditional methods, attracts as a source of information, stage of mandatory certification tests and additional studies to determine the operating operational load. At the same time, it is proposed for the first time to evaluate project studies accuracy and determine operational loads not only for an individual construction, but for the whole of their series. Thereby, on the one hand, time and cost of research reduce, and, on the other hand, – degree of model adequacy, accuracy of obtained results and reliability of recommendations, which are developed.

In the work substantiation of rational parameters and constructive solutions of thin-walled engineering structures is carried out according to criteria of mass reduction, stresses reduction, service life increasing. Additional criteria, such as cost, manufacturability, economy, energy efficiency can be also taken into account.

The varied generalized parameters are structure, design and technological solutions of thin-walled engineering structures, design parameters and operating

modes. At the same time, problems of individual analysis, multivariate research, as well as substantiation of rational design and technological solutions are solved.

For development of known approaches the following new tasks types arising from technical solutions substantiation for innovative thin-walled engineering structures are presented: unification task, expediency, efficiency analysis can be posed in the case of plurality of considered objects; load identification, verification tasks are based on design studies and experimental data; forecasting and disassembly tasks based on analysis of data of projected, tested and certified objects. These tasks extend the plurality of traditional synthesis tasks, taking into account real situations of serial production, unification, cost, etc. The developed approach has practical application. It enables to solve various types of listed tasks, which is its main advantage.

The methods of stressed-strained state analysis of thin-walled machine-building constructions proposed are algorithmically based on the combination of advantages of universal and special complexes.

Using developed approach, recommendations for rational design of thin-walled elements of freight wagons and cranes-reloaders were developed. Thus, the tare coefficient of tanks for transportation of molten sulfur and universal platform carriages, as well as crane-reloader load carrying capacity, were improved by almost 10%. In addition, an increase of up to 25% of life of these products compared to original variants and competitors products. Economic effect of work results implementation achieved by time and cost reducing for project development and is 650.2 thousand UAH. Implementation of work results was carried out at enterprises of management company "ReylTransHolding", as well at NTU "KhPI". This work is potentially appreciate for implementation in research institutes, design bureau and directly at enterprises involved in design, manufacture and operation of innovative thin-walled engineering products, which differ significantly higher technical characteristics than their initial variants, as well as analogues. This applies to thin-walled engineering structures, which are used in transport, chemical, construction, mining, agroindustrial and other industries.

Keywords: strength of machines, stress-strain state, thin-walled engineering structure, parametric model, finite element method, design and technological solution, tank wagon, platform wagon, loading crane.

List of publications

1. Sheychenko R.I. Metod linearizatsii poverhnosti otklika v zadache obosnovaniya proektnykh parametrov tonkostennykh elementov mashinostroitelnykh konstruktsiy / A.V. Litvinenko, R.I. Sheychenko, R.V. Graborov, M.A. Bondarenko // Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy politechnichniy institut». – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2014. – №. 31. – S. 88–98.

2. Sheychenko R.I. Eksperimentalnyie issledovaniya gruzovogo vagona / A.D. Chepurnoy, A.V. Litvinenko, A.N. Baranov, R.I. Sheychenko, M.A. Bondarenko // Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy politechnichniy institut». – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2014. – No. 22. – S. 44–61.

3. Sheychenko R.I. Bilinearizatsiya poverhnosti otklika v optimizatsionnykh issledovaniyakh tonkostennykh elementov mashinostroitelnykh konstruktsiy / M.A. Bondarenko, R.I. Sheychenko, R.V. Graborov, D.G. Shinkin, D.V. Kirichuk // Mehanika ta mashinobuduvannya. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2014. – No. 1. – S. 18–23.

4. Sheichenko R.I. Vdoskonalennia metodiv doslidzhennia kuzoviv vagoniv pid diieiu ekspluatatsiinykh navantazhen / M.O. Chuban, R.I. Sheichenko, A.V. Sereda, D.H. Shynkin // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: Tezy dopovidei XXIII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, Ch. I – Kharkiv, NTU «KhPI», 2015. – S. 234.

5. Sheychenko R.I. Hodovyie prochnostnyie i dinamicheskie ispytaniya vagona-platformy / A.D. Chepurnoy, A.V. Litvinenko, R.I. Sheychenko, R.V. Graborov, M.A. Chuban // Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy politechnichniy institut». – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2015. – No. 31. – S. 111–128.

6. Sheychenko R.I. Modeli approksimatsii poverhnosti otklika v optimizatsionnyih issledovaniyah mashinostroitelnyih konstruktsiy / M.A. Chuban, R.I. Sheychenko, R.V. Graborov // Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy politehnicniy institut». – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2015. – No. 62. – S. 46–51.

7. Sheychenko R. I. Metodologicheskie osnovyi rasshirennyih prochnostnyih i dinamicheskikh issledovaniy pri ispytaniyah dlinnobaznyih platform / A.D. Chepurnoy, V.I. Senko, S.V. Makeev, R.I. Sheychenko, R.V. Graborov, N.A. Tkachuk // Mehanika ta mashinobuduvannya. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2015. – No. 1. – S. 67–81.

8. Pat. na korisnu model UA 97543 U, MPK B61D 3/00, B61F 1/08. Bagatotsiloviy zaliznichniy vagon-platforma / S.O. Shpak, A.D. Chepurniy, O.V. Litvinenko, L.Yu. Poletun, A.P. Kopilash, R.I. Sheychenko, O.K. Shevchenko; Vlasnik OOO UK "ReylTransHolding", zayavl. 01.09.2014; opubl. 25.03.2015. – Biul. No. 9.

9. Sheychenko R.I. Vpliv variyuvannya proektnih parametriv na harakteristiki mitsnosti ta zhorstkosti korpusiv legkobronovanih mashin / M.A. Chuban, A.M. Malakey, R.I. Sheychenko, O.O. Atroshenko, I.V. Mazur, V.V. Durachenko // Naukove zabezpechennya sluzhbovo-boyovoyi diyalnosti Natsionalnoyi gvardiyi Ukraini: Tezi dopovidey VII naukovo-praktichnoyi konferentsiyi. – Kharkiv, NANGU, 2016. – S. 155–156.

10. Sheychenko R.I. Obosnovanie proektno-tehnologicheskikh resheniy pri proektirovanii innovatsionnyih obraztsov podvizhnogo sostava zheleznyih dorog / A.D. Chepurnoy, A.V. Litvinenko, R.I. Sheychenko, R.V. Graborov, M.A. Chuban, N.A. Tkachuk // Informatsiyi tehnologii: nauka, tehnika, tehnologiya, osvita, zdorov'ya: Tezi dopovidey XXIV myzhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi, Ch. I – Kharkiv, NTU «KhPI», 2016. – S. 234.

11. Sheychenko R.I. Ispytaniya vagona-platformy universalnoy / V.I. Senko, S.V. Makeev, A.D. Chepurnoy, A.V. Litvinenko, R.I. Sheychenko, R.V. Graborov, N.A. Tkachuk, M.A. Chuban // Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu

«Kharkivskiy politechnichniy institut». – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2016. – No. 12. – S.71–83.

12. Sheychenko R.I. Funktsionalnyie ispyitaniya perspektivnogo vagona-tsisternyi dlya perevozki rasplavlennoy seryi modeli 15-9544 / V.V. Galov, S.B. Komissarov, R.V. Graborov, R.I. Sheychenko, M.A. Chuban // Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy politechnichniy institut». – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2016. – No. 39. – S. 50–55.

13. Pat. na vinahid UA 114195 S2 MPK B61D 5/00, B65D 88/54, B65D 88/74, F17C 3/06, B67D 7/80 Vagon-tsisterna dlya zatverdilih produktiv / S.O. Shpak, A.D. Chepurniy, O.V. Litvinenko, L.Yu. Poletun, L.M. Klopkov; Vlasnik OOO UK "ReylTransHolding", zayavl. 20.10.2014; opubl. 10.05.2017. – Biul. No. 9.

14. Pat. na korisnu model UA 115987 U, MPK B61D 5/00. ZalIznicniy vagon-tsisterna / S.O. Shpak, A.D. Chepurniy, O.V. Litvinenko, V.S. Marinyuk, R.I. Sheychenko, O.V. Morozyuk, D.V. Stepanov, R.V. Graborov, M.O.Chuban; Vlasnik OOO UK "ReylTransHoldIng", zayavl. 01.08.2016; opubl. 10.05.2017. – Biul. No. 9.

15. Pat. na vinahid UA 115997 S2 MPK B61D 5/00, B65D 88/54, B65D 88/74, F17C 3/06, B67D 7/80. Vagon-tsisterna dlya zatverdilih produktiv / S.O. Shpak, A.D. Chepurniy, O.V. Litvinenko, L.Yu. Poletun, L.M. Klopkov; Vlasnik OOO UK "ReylTransHolding", zayavl. 20.04.2015; opubl. 25.01.2018. – Biul. No. 2.

16. Pat. na vinahid UA 116006 S2 MPK B61D 5/00, B65D 88/74 Vagon-tsisterna dlya zatverdilih produktiv / S.O. Shpak, A.D. Chepurniy, O.V. Litvinenko, L.Yu. Poletun, L.M. Klopkov; Vlasnik OOO UK "ReylTransHolding", zayavl. 14.08.2015; opubl. 25.01.2018. – Biul. No. 2.

17. Sheychenko R.I. Innovatsionnyie tonkostennyie konstruktsii: obosnovanie proektno-tehnologicheskikh parametrov / M.A. Bondarenko, A.V. Litvinenko, Yu.B. Gusev, R. I. Sheychenko, R. V. Graborov, A. D. Chepurnoy // Informatsiyni tehnologiyi: nauka, tehnika, tehnologiya, osvita, zdorov'ya: Tezi dopovidey XXV

mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi, Ch. I. – Kharkiv, NTU «KhPI», 2017. – S. 166.

18. Sheychenko R. Analysis and synthesis of complex spatial thin-walled structures / A. Marchenko, A. Chepurnoy, V. Sen'ko, S. Makeev, O. Litvinenko, R. Sheychenko, R. Graborov, M. Tkachuk, M. Bondarenko // Proceedings of the Institute of Vehicles. – Warsaw: Institute of Vehicles of Warsaw University of Technology. – 2017. – No. 1 (110). – P. 17–29.

19. Sheychenko R.I. Kompyuternoe modelirovanie v protsesse obosnovaniya tehnikeskikh resheniy pri proektirovanii innovatsionnykh izdeliy / Yu.B. Gusev, R.I. Sheychenko, R.V. Graborov, M.A. Bondarenko, A.Yu. Tanchenko, N.A. Tkachuk, A.V. Nabokov, E.O. Lunev // Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy politechnichniy institut». – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2017. – № 5. – S. 95–107.

20. Sheychenko R.I. Eksperimentalnyie issledovaniya tonkostennykh konstruktsiy / Yu.B. Gusev, R.I. Sheychenko, N.A. Tkachuk, A.Yu. Tanchenko, A.V. Grabovskiy, A.V. Nabokov, M.A. Bondarenko, A.M. Golovin, V.V. Shemanskaya // Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy politechnichniy institut». – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2017. – No. 14. – S. 140–155.

21. Sheychenko R.I. Chislennoe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya innovatsionnykh tonkostennykh mashinostroitelnykh konstruktsiy / R.I. Sheychenko, N.A. Tkachuk, M.A. Bondarenko, E.A. Lunev // Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy politechnichniy institut». – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2017. – No. 12. – S. 137–145.

22. Sheychenko R.I. Chyslovi doslidzhennia vantazhnoho vahonu / A.D. Chepurnyi, R.I. Sheychenko, R.V. Graborov, M.A. Tkachuk, M.O. Bondarenko, A.V. Grabovskiy, Ye.O. Lunov // Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy politechnichniy institut». – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2017. – No. 23. – S. 47–55.

23. Sheychenko R.I. Innovatsionnyie izdeliya: razrabotka, issledovaniya, optimizatsiya / N.A. Tkachuk, A.D. Chepurnoy, R.I. Sheychenko, R.V. Graborov,

M.A. Bondarenko, M.S. Saverskaya, E.A. Lunev // Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy politechniy institut». – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2017. – No. 25. – S. 153–159.

24. Sheychenko R.I. Innovatsionniy vagon-tsisterna dlya perevozki legkovesnyih himicheskikh produktov / A.D. Chepurnoy, R.I. Sheychenko, R.V. Graborov, N.A. Tkachuk, M.A. Bondarenko, A.V. Grabovskiy, E.A. Lunev, A.V. Tkachuk, A.V. Nabokov, L.N. Bondarenko // Mehanika ta mashinobuduvannya. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2017. – No. 1. – S. 183–195.

25. Sheychenko R.I. Reshenye zadach analiza y synteza slozhnikh prostranstvennikh tonkostennikh konstruktsiy / A.D. Chepurnoy, V.I. Senko, S.V. Makeev, A.V. Lytvynenko, R.I. Sheychenko, R.V. Graborov, N.A. Tkachuk, M.A. Bondarenko // Vestnyk Belorusskoho hosudarstvennogo unyversyteta transporta. – Homel: BHUT. – 2017. – No. 2. – S. 152–162.

26. Sheychenko R. Thin-walled structures: analysis of the stressed-strained state and parameter validation / M. Tkachuk, M. Bondarenko, A. Grabovskiy, A. Vasiliev, R. Sheychenko, R. Graborov, V. Posohov, E. Lunyov, A. Nabokov // Skhidno-Yevropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnolohii. – Kharkiv: UDAZT. – 2018 – 1/7 (91) – S. 18–29.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

СЕМ – скінченно-елементна модель

СЕ – скінченний елемент

МСЕ – метод скінченних елементів

НДС – напружено-деформований стан

ТСМБК – тонкостінна машинобудівна конструкція

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1. Аналіз методів дослідження напружено-деформованого стану тонкостінних машинобудівних конструкцій та обґрунтування їх технічних рішень	12
1.1. Аналіз тенденцій в машинобудуванні у напрямі збільшення випуску інноваційних виробів.....	12
1.2. Аналіз проектних вимог до тонкостінних машинобудівних конструкцій	16
1.3. Аналіз умов експлуатації тонкостінних машинобудівних конструкцій на прикладі вантажних вагонів	24
1.4. Аналіз методів та моделей для дослідження напружено-деформованого стану тонкостінних машинобудівних конструкцій.....	25
Висновки до розділу 1. Постановка задач досліджень	39
2. Математична модель напружено-деформованого стану тонкостінних машинобудівних конструкцій при дії комплексу експлуатаційних навантажень і варіюванні проектних параметрів ...	42
2.1. Параметричні моделі напружено-деформованого стану тонкостінних машинобудівних конструкцій	42
2.2. Особливості технічних рішень інноваційних тонкостінних машинобудівних конструкцій на прикладі вагона-цистерни.....	53
2.3. Методи обґрунтування технічних рішень при проектуванні інноваційних тонкостінних машинобудівних конструкцій.....	68
2.4. Алгоритмізація запропонованих методів розрахунку тонкостінних конструкцій.....	74
Висновки до розділу 2.....	76
3. Чисельне моделювання напружено-деформованого стану	

інноваційних тонкостінних машинобудівних конструкцій	79
3.1. Чисельне моделювання напружено-деформованого стану силових елементів конструкції інноваційного вагону-цистерни.....	79
3.2. Аналіз напружено-деформованого стану і обґрунтування параметрів тонкостінних конструктивів інноваційних вагонів-платформ за критерієм міцності та довговічності.....	96
3.3. Чисельне дослідження напружено-деформованого стану силових елементів крану-перевантажувача з підвищеними технічними характеристиками.....	134
Висновки до розділу 3.....	143
4. Розрахунково-експериментальне обґрунтування рішень для тонкостінних машинобудівних конструкцій.....	144
4.1. Експериментальне дослідження міцності вагону-цистерни.....	144
4.2. Розширені дослідження на міцність і динамічні дослідження при експериментальних випробуваннях довгобазних платформ.....	161
4.3. Розрахунково-експериментальні дослідження напружено-деформованого стану крану-перевантажувача.....	181
4.4. Впровадження результатів досліджень.....	183
Висновки до розділу 4.....	184
ВИСНОВКИ.....	186
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	189
ДОДАТКИ.....	218