

## **Розроблення методів структурної оптимізації тонкостінних аерокосмічних конструкцій**

## **Разработка методов структурной оптимизации тонкостенных аэрокосмических конструкций**

## **Development of methods for structural optimization of thin-walled aerospace structures**

1. **Номер держреєстрації №0109U000703, № реєстрації в університеті 2281-п**

2. **Науковий керівник**

доктор технічних наук, професор Збруцький Олександр Васильович  
доктор технических наук, профессор Збруцкий Александр Васильевич  
doctor of technical sciences, professor Alexander Zbrutsky

3. **Суть розробки, основні результати:**

**Укр.**

Конструкції з тонкостінних металевих труб мають все більше поширення в конструкціях сучасних легких літальних апаратів, як пілотованих так і безпілотних завдяки своїй винятковій технологічності, міцності та високому ресурсу. Водночас, масова ефективність конструкцій з тонкостінних металевих труб залишається відносно низькою в порівнянні з традиційними авіаційними конструкціями. Це пояснюється симетричністю властивостей труби круглого перерізу щодо сприйняття навантажень, в той час як в авіаційних конструкціях величини зусиль, що діють в різних напрямках, можуть відрізнятися в десятки разів. В роботі розглянуто і вирішено питання розробки методів розрахунку напружено-деформованого стану аерокосмічних конструкцій з тонкостінних металевих труб та структурної оптимізації подібних конструкцій. Запропоновано, обґрунтовано і досліджено методи зменшення ваги елементів конструкції з тонкостінних труб, що надає шляхи вирішення однієї з найбільших проблем подібних конструкцій – наявності великої неефективної конструктивної маси. В межах роботи створено лабораторну установку для дослідження деформацій елементів конструкцій тонкостінних труб, створено скінченно-елементні моделі тонкостінних труб та доведено шляхом натурних експериментів їх адекватність. Згідно отриманих в роботі методик розраховано та виготовлено елемент тонкостінної трубчастої конструкції зменшеної ваги, досліджено на чисельній моделі і шляхом натурального експерименту її напружено-деформований стан, підтверджено ефективність запропонованих методів зменшення ваги подібних елементів.

**Рос.**

Конструкции из тонкостенных металлических труб имеют все большее распространение в конструкциях современных легких летательных аппаратов, как пилотируемых так и беспилотных благодаря своей исключительной технологичности, прочности и высокому ресурсу. Вместе с тем массовая эффективность конструкций из тонкостенных металлических труб остается относительно низкой по сравнению с традиционными авиационными конструкциями. Это объясняется симметричностью свойств трубы круглого сечения по восприятию нагрузок, в то время как в авиационных конструкциях величины усилий, действующих в разных направлениях, могут отличаться в десятки раз. В работе рассмотрены и решены вопросы разработки методов расчета напряженно-деформированного состояния аэрокосмических конструкций из тонкостенных металлических труб и структурной оптимизации подобных конструкций. Предложены, обоснованы и исследованы методы уменьшения веса элементов конструкции из тонкостенных труб, предоставлены пути решения одной из самых больших проблем подобных конструкций - наличие большой неэффективной конструктивной массы. В рамках работы создана лабораторная установка для исследования деформаций элементов конструкций тонкостенных труб, созданы конечно-элементные модели тонкостенных труб и доказано путем натурных экспериментов их адекватность. Согласно полученным в работе методикам рассчитан и изготовлен элемент тонкостенной трубчатой конструкции уменьшенной веса, исследовано на численной модели и путем натурального эксперимента ее

напряженно-деформированное состояние, подтверждена эффективность предложенных методов уменьшения веса подобных элементов.

**Англ.**

Design of thin-walled metal tubes are becoming more common in the construction of modern light aircraft, both manned and unmanned due to its exceptional workability, durability and long service life. However, the mass efficiency of thin-walled structures made of metal tubes is still relatively low compared with traditional aircraft designs. This is due to the symmetry properties of the round tubes on the perception of stress, while in aerostructures magnitude of the forces acting in different directions may differ by tens of times. We addressed and resolved the issues of development of methods of calculating the stress-strain state of aerospace structures made of thin metal tubing, and structural optimization of such structures. Proposed, justified and the methods of reducing the weight of the structural elements of thin-walled tubes, provided solutions to one of the biggest problems of such structures - the presence of large inefficient structural mass. In the framework of established laboratory facility to study the deformation of structural elements of thin-walled tubes, created a finite-element model of thin-walled tubes and proved by carried experiments of their adequacy. According to the work methods designed and fabricated a thin-walled tubular element reduced weight, were investigated by the numerical model and by the natural experiment of the stress-strain state, confirmed the effectiveness of the proposed methods for reducing the weight of such elements.

4. **Наявність охоронних документів** на об'єкти права інтелектуальної власності (заявка на патент, патент, свідоцтво на авторське право).

5. **Порівняння зі світовими аналогами.**

Для побудови скінченно-елементних моделей використано найсучасніші вітчизняні та світові розрахункові комплекси, сучасне комп'ютерне обладнання. Запропоновано нові підходи до зменшення ваги елементів з тонкостінних труб, застосування яких на сьогодні немає в світовій практиці.

6. **Економічна привабливість для просування на ринок** (вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності, показники).

Отримані результати можна застосувати в конструкціях надлегких літальних апаратів (дельтапланів, мотодельтапланів, мікролітаків). Українські виробники техніки такого класу займають провідні позиції у світі (фірми «Аерос», «Аеропракт» та інші). Рекомендації щодо методів зменшення ваги розроблено з орієнтацією на наявне технологічне устаткування і сортамент тонкостінних труб цих виробників, що дозволяє запровадити результати роботи у виробничий процес без додаткових витрат

7. **Потенційні користувачі** (галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації).

Підприємства розробники та виробники надлегких літальних апаратів (НЛА) та зразків авіаційно-космічної техніки, експлуатанти НЛА.

8. **Стан готовності розробки** (лабораторний або промисловий зразок, технічна документація, бізнес-план, готова до впровадження).

Створений лабораторний зразок установки для випробувань конструктивних елементів з тонкостінних труб, розроблено рекомендації щодо впровадження у конструкторсько-технологічний цикл

9. **Існуючі результати впровадження.**

Елементи з тонкостінних труб зменшеної ваги застосовано в конструкції БПЛА «Птах» розробки ФАКС НТУ «КПІ», що зумовило високу вагову ефективність та міцність літака.

10. **Назва підрозділу** Науково-аналітичний центр критичних технологій навігаційного приладобудування (НАЦ КТНП) НТУУ "КПІ", телефон 406-86-34, e-mail [faks@ntu-kpi.kiev.ua](mailto:faks@ntu-kpi.kiev.ua).

11. **Перелік публікацій за матеріалами досліджень** за період виконання : (монографії, підручники, посібники, наукові статті, дисертації, інші публікації).

*Навчальні посібники*

Нечипоренко Е.М; навчальний посібник з грифом МОН "Основи надійності літальних апаратів", НТУУ КПІ, 2010, 240 с.

*Наукові статті*

1. Ф. Каюк, В.Я. Канченко, О.П. Мариношенко Оптимізація внутрішньої структури видовженої балкової системи // Наук.-тех. збірник "Інформаційні системи, механіка та керування", Випуск 3, Київ, 2009. – С. 58–69.
2. О.В. Микитченко, О. П. Мариношенко Математична модель вихрового руху суцільного середовища // Наук.-тех. збірник "Механіка гіроскопічних систем", Випуск 21, Київ, 2010. – С.112–123.
3. Мариношенко О.П., Франчук Ю.В. Математична модель деформування крила літального апарату // Наук.-тех. збірник "Інформаційні системи, механіка та керування", Випуск 5, Київ, 2010. – С. 75–85.
4. Мариношенко О.П. Коливальні процеси при деформуванні крила літального апарату / Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки: VII Міжнародна наук.-техн. конф., 22-24 квіт. 2009р.: збір. допов. – Київ, 2009. – С. 339–344.
5. О. Збруцький, О. Коломієць, О. Мариношенко, . Прохорчук, І. Студзінська Електронна картографічна навігаційно-інформаційна система "GECDIS КПІ" / Зб. доповідей XV Міжнародний науково-технічний симпозиуму "Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища GPS і GIS технології" – Алушта ЛНТУ "Львівська політехніка", 2010. – С. 339–344.
6. В.П. Зинченко, В.В. Борисов, Д.И. Конотоп. Анализ средств и методов информационных технологий синтеза структур конечно-элементных моделей. Інформаційні системи, механіка та керування, вип. 3, 2009, с.112-120
7. В.В. Борисов, В.П. Зинченко. Анализ актуальных проблем информационной технологии декомпозиции и синтеза конечно-элементных моделей. Открытые информационные и компьютерные технологии, вып. 44, 2009. с. 79-91
8. Вірченко Г.А. Структурно-параметричний підхід як засіб удосконалення геометричних алгоритмів // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип. 26. – Харків: ХДУХТ, 2010. – С. 81-84.
9. Вірченко Г.А. Структурно-параметричний підхід як загальна методологія комп'ютерного геометричного моделювання об'єктів машинобудування / Вірченко Г.А. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 83. – К.: КНУБА, 2010. – С. 146-152.
10. Вірченко Г.А. Структурно-параметричні методи апроксимації як засоби вирішення задач оптимізації /Праці Тавр. держ. агротех. університету – Вип. 4, т. 47 – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – С. 61-66
11. Зінченко Д.М. Салімі Хаджі М.Фарід, Яригін В.М. "Аеродинамічне проектування спеціалізованого сільськогосподарського літака". Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил ім. Івана Кожедуба № 2(24) Харків, 2010. – С. 81-89

12. Карнаушенко Р.В. Проектування безпілотного літального апарату з роз'ємним фюзеляжем // Гіротехнології та конструювання літальних апаратів: XIII наук.-техн. конф., 2000р.:тези допов. – Київ, 2009. – С. 22.

12. **Фото / схема**, слайди презентації розробки в електронному вигляді (рекламного характеру).

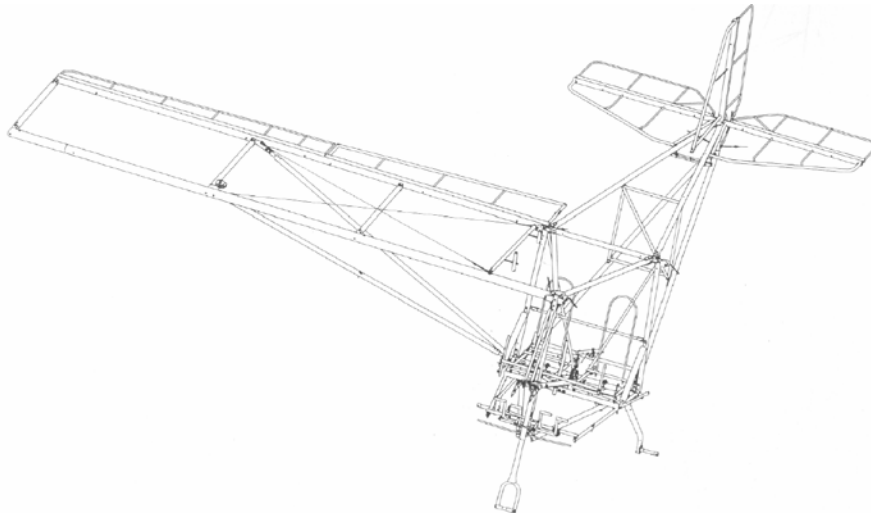


Рис. 1. Конструктивно-силова схема легкого літака SkyRanger

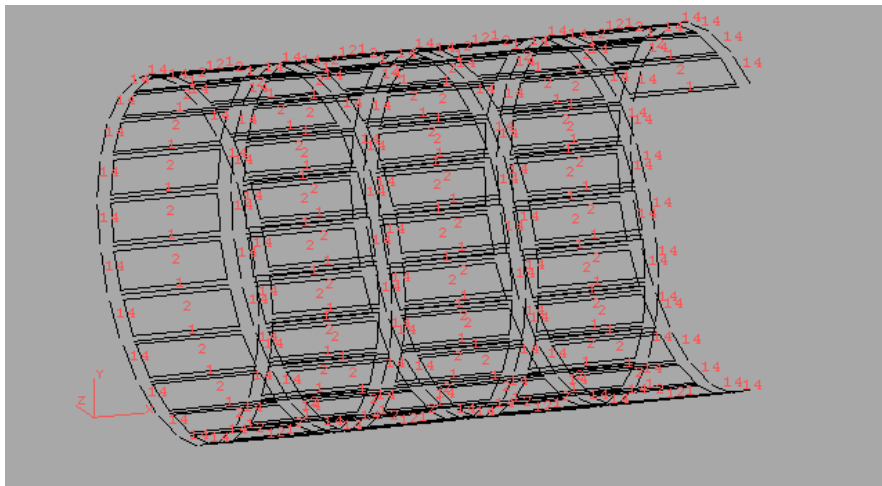


Рис. 2. Візуалізація моделі створеної засобами комплексу

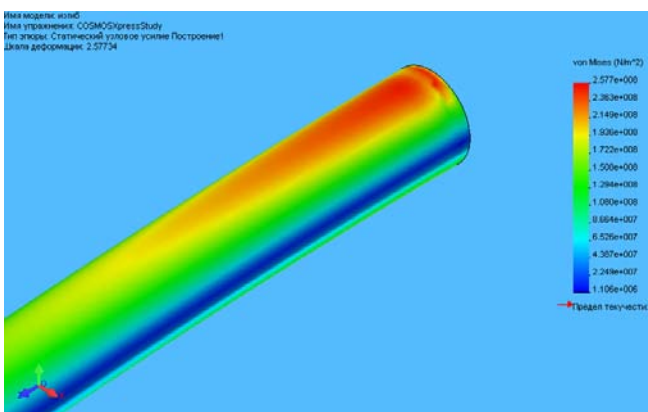


Рис.3. Розподіл напружень при згині



Рис. 4. Експериментальний стенд