

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Світличного Сергія Петровича «Моделі взаємодії м'якого тіла з перешкодою і результати їх дослідження», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність обраної теми дисертаційної роботи. В процесі експлуатації повітряних суден трапляються випадки попадання птахів у авіаційний двигун, які являють реальну загрозу безпеці польотів. Аналіз динамічної міцності лопаток у випадку зіткнення з птахом є важливим науково-практичним завданням, що виникає під час проектування. Згідно з діючими нормами авіаційних правил конструкція лопатки повинна витримувати удар птаха масою 1,8 кг. Птахостійкість лопаток авіаційних двигунів оцінюють за допомогою засобів математичного моделювання і експериментально. Проведення натурних випробувань пов'язано з певними технічними і матеріальними труднощами, а також потребує певного часу на їх проведення.

Завдяки сучасному розвитку обчислювальної техніки і чисельних методів розв'язку диференціальних рівнянь механіки суцільних середовищ з'явилася практична можливість чисельного моделювання швидкоплинних високо нелінійних процесів, які супроводжують удар птаха по лопатці з урахуванням їх контактної взаємодії та розповсюдження ударних хвиль. Незважаючи на наявність певної кількості математичних моделей, які використовують для чисельного моделювання зіткнення птаха з лопаткою проблема розробки нових моделей, які характеризуються універсальністю, адекватністю опису фізичних процесів, високою точністю і обчислювальною ефективністю є як і раніше актуальною, що пов'язано з стрімким розвитком галузі обчислювальної математики, появою нових чисельних методів і нових постановок завдань. У зв'язку з цим розробка чисельної моделі контактної взаємодії м'якого тіла з лопаткою авіаційного двигуна, з метою впровадження у практику проектування надійних і безпечно ушкоджуваних конструкцій лопаток, є актуальним науковим завданням математичного моделювання. Позитивний ефект, який може бути досягнуто від впровадження цих моделей полягає у частковій заміні натурних випробувань чисельним експериментом, що у свою чергу дозволить скоротити час і матеріальні витрати.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Основні наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи достатньо обґрунтовані розрахунковими дослідженнями, проведеними здобувачем. Основні теоретичні положення дисертаційної роботи не суперечать існуючим теоретичним положенням механіки суцільних середовищ, теорії пружності й пластичності, гідродинаміки. У якості методів дослідження здобувачем використано відомі методи скінченних елементів і скінченних різниць, метод згладжених частинок для розв'язку диференціальних рівнянь, описуючих рух і деформування суцільних середовищ. У якості інструмента для розв'язку загальної початково-крайової задачі використано систему явного динамічного аналізу LS-DYNA.

Достовірність отриманих результатів підтверджується тестовими розрахунками, порівнянням результатів, отриманих автором, з аналогічними даними, наведеними в літературних джерелах, порівнянням чисельних результатів з експериментальними даними. Наведене вище свідчить про працездатність розробленої чисельної моделі.

Наукова новизна результатів дисертації. Основні наукові результати досліджень і новизна дисертації полягають в наступному:

– Вперше розроблено гібридну модель для чисельного аналізу реакції модельної лопатки з титанового сплаву на удар м'якого тіла, яка на відміну від існуючих моделей не потребує проведення натурального експерименту для визначення діючих на лопатку навантажень, що істотно спрощує, прискорює процес випробування лопаток двигуна на птахостійкість і знижує матеріальні витрати на їх проведення.

– Отримав подальший розвиток метод моделювання контактної взаємодії м'якого тіла з лопаткою авіаційного двигуна, який відрізняється від існуючих застосуванням безсіткового методу згладжених частинок для дискретизації м'якого тіла, що дозволило усунути проблеми чисельної нестійкості рішення. Це в свою чергу розширило область моделювання та дослідження механічних процесів, які супроводжують удар.

– Вдосконалено метод ідентифікації параметрів чисельної моделі, шляхом мінімізації кількості вхідних параметрів моделі та розроблено практичні рекомендації щодо вибору значень вхідних параметрів виходячи з необхідного співвідношення критеріїв обчислювальної ефективності та точності.

Наукове, практичне значення та реалізація результатів роботи. Наукова цінність роботи полягає в розробці нової чисельної моделі та подальшому розвитку метода моделювання зіткнення птаха з лопаткою авіаційного двигуна, що у сукупності дозволяє усунути проблеми чисельної нестійкості рішення та розширити область моделювання механічних процесів удару.

Практична цінність роботи полягає в такому. Розроблено нову гібридну модель для комплексного дослідження впливу конструктивних параметрів лопаток на їх реакцію у разі удару по ним м'якого тіла різної маси, з різною швидкістю і під різними кутами. Вдосконалено метод ідентифікації параметрів чисельної моделі і розроблено практичні рекомендації по вибору значень параметрів моделі з урахуванням критеріїв обчислювальної ефективності та точності. Модель може бути застосовано у випадках, коли можливість проведення натурних випробувань обмежена, їх реалізація економічно недоцільна або неможлива.

Використання гібридної чисельної моделі контактної взаємодії м'якого тіла з лопаткою авіаційного двигуна у практиці проектування дозволяє скоротити час проектування і матеріальні витрати на проведення випробувань за рахунок зменшення кількості натурних випробувань і часткової їх заміни чисельним експериментом.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені на Державному підприємстві «АНТОНОВ» (м. Київ), а також у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» і використовуються під час проведення наукового стажування студентів 5 і 6 курсів з метою підготовки до роботи в компанії «Прогресстех-Україна».

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях. Основні наукові положення і результати досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковані у 9 наукових роботах, серед яких 5 статей – у наукових журналах і збірниках із переліку, рекомендованого МОН України, 1 стаття у науковому збірнику, що входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus, 3 тези доповідей на міжнародних конференціях. Результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 3 міжнародних наукових конференціях. Перелік конференцій наведено на стор. 9 дисертації.

Аналіз публікацій автора дозволяє зробити висновок, що основні результати дисертації найшли повне відображення в авторефераті та наукових фахових виданнях. Автореферат дисертації повною мірою відображає зміст роботи та отримані автором результати досліджень. Робота пройшла необхідну апробацію на наукових семінарах та конференціях.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності у цілому. Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків. Повний обсяг роботи складає 168 сторінок, з них основного тексту 118 сторінок, 89 рисунків по тексту, 5 таблиць по тексту, список використаних джерел з 110 найменувань на 12 сторінках, три додатки на 17 сторінках.

У вступі обґрунтовано вибір теми дослідження, сформульовано мету і задачі дослідження, а також наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено дані про публікації та апробацію результатів дослідження.

У першому розділі розглянуто випадки зіткнення літаків із птахами, проаналізовано та наведено класифікацію чинників, пов'язаних з даними інцидентами. Розділ також містить аналітичний огляд літературних джерел та аналіз сучасного стану проблеми дослідження механічних процесів, які супроводжують удар. Наведено докладний аналіз робіт теоретичної та експериментальної спрямованості. Окрему увагу приділено аналізу робіт присвячених чисельному моделюванню зіткнення м'якого тіла з перешкодою. На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що питання розробки чисельної моделі контактної взаємодії м'якого тіла з лопаткою авіаційного двигуна досліджено недостатньо. Що обумовило актуальність та необхідність проведення відповідних досліджень, результати яких наведено у подальших розділах роботи.

У другому розділі описано фізичну модель взаємодії м'якого тіла з перешкодою і розглянуто основні положення теорії гідродару. У розділі розглянуто постановку загальної початково-крайової задачі механіки

суцільного середовища. Рух і стан деформованих середовищ описано з позиції Лагранжа. Рівняння, що описують рух і термомеханічний стан суцільних середовищ і виражають фундаментальні закони збереження: рівняння нерозривності, рівняння зміни кількості руху та рівняння балансу енергії, записані в актуальній конфігурації, а їх диференціювання та інтегрування виконується за ейлеровими координатами. Система рівнянь доповнена кінематичними та геометричними співвідношеннями. Особливості поведінки розглянутих деформованих середовищ, які виявляються у вигляді опору деформуванню, описуються фізичними співвідношеннями. Для отримання єдиного рішення система рівнянь доповнена граничними, контактними та початковими умовами. Застосовуючи варіаційний принцип віртуальних робіт отримано слабку форму системи визначальних рівнянь. Розглянуто побудову скінчено-елементної моделі для перешкоди і безсіткової моделі для м'якого тіла, описано базисні функції, які використано під час дискретизації суцільних середовищ. Для розв'язку рівнянь руху використано явну скінчено-різницеву схему 2-го порядку, яка є умовно стійкою. Наведено вирази для визначення критичного значення кроку за часом з умови забезпечення стійкості розв'язку.

Третій розділ містить результати чисельного дослідження взаємодії м'якого тіла з жорсткою перешкодою. Проведено верифікацію м'якого тіла і розв'язано наступні завдання: 1) досліджено вплив форми м'якого тіла; 2) обраний метод дискретизації м'якого тіла; 3) досліджено вплив кроку дискретизації за просторовими змінними; 4) досліджено вплив щільності середовища, а також маси і швидкості зіткнення на розподіл тисків і зусиль при ударі; 5) виконано порівняння результатів чисельного моделювання з результатами, які отримано за допомогою аналітичних розв'язків та натурних експериментів. Аналізуючи результати розв'язку наведених вище завдань, зроблено наступні висновки: 1) форма м'якого тіла несуттєво впливає на розподіл тисків при ударі; 2) для дискретизації м'якого тіла застосовано безсітковий метод згладжених частинок, який на відміну від методу скінченних елементів забезпечує більш високу точність при істотно меншій кількості частинок в моделі, що у свою чергу дозволяє знизити обчислювальні витрати. Шляхом тестових розрахунків отримано, що для забезпечення похибки обчислення тисків, значення якої не перевищує 3%, мінімальна кількість частинок у моделі повинна бути не менше ніж 10000. Отримано апроксимаційні залежності сили удару і тиску від маси і швидкості м'якого тіла. Встановлено, що залежність сили удару від маси м'якого тіла і швидкості зіткнення є квадратичною.

Четвертий розділ містить результати дослідження деформації сталевий плити-мішені, а також її реакції на удар м'якого тіла при різних швидкостях і кутах зіткнення. Додатково досліджено вплив граничних умов на форму імпульсу деформацій. Отримано задовільне якісне та кількісне узгодження результатів чисельного моделювання з результатами натурального експерименту. Максимальна похибка визначення деформації у разі косоного удару не перевищує 12...14%. В розділі також наведено результати дослідження реакції модельної лопатки з титанового сплаву у разі удару по ній м'якого тіла при

різних масах м'якого тіла, швидкостях і кутах зіткнення. Додатково проаналізовано вплив товщини і довжини лопатки на розподіл динамічного прогину. За допомогою розробленої чисельної моделі контактної взаємодії м'якого тіла з лопаткою отримано новий результат, що полягає в тому, що зі зменшенням жорсткості лопатки і збільшенням швидкості удару лопатка робить нелінійні затухаючі коливання щодо нового положення рівноваги. Причиною несиметричності коливань є пластичні деформації, які виникають у кореневому перерізі лопатки. Отримано задовільне узгодження результатів чисельного моделювання з результатами натурального експерименту. Максимальна похибка визначення прогину для зразків першої групи становить 12%.

Зауваження. Щодо роботи є такі зауваження.

1. На стор. 53, 61 і 62 для позначення індексів простору використано різні символи, а саме i , k , α та β . Бажано в роботі застосовувати єдину символіку.

2. На стор. 42, вираз (2.27) для тензора швидкостей деформацій має лінійний вигляд. При цьому далі по тексту автор стверджує, що систему визначальних рівнянь сформульовано для розв'язку тривимірною, нестационарною і суттєво нелінійною задачі.

3. У роботі вектор вузлових прискорень позначено двома різними символами \ddot{y} (див. стор. 62) та a_n (див. стор. 63, рис. 2.8), що небажано робити у рамках однієї наукової роботи.

4. У розділі 3, стор. 78, на рис. 3.12 для моделі 2 допущено помилку, а саме криву тиску під номером 2 позначено двома різними номерами 2 і 3.

5. У розділі 2 на стор. 50 допущено термінологічну помилку: для позначення матриці \mathbf{B} здобувач використовує різні терміни (матриця градієнтів та матричний диференціальний оператор).

6. На стор. 89 наведено твердження, що «виявлено особливість методу SPH, яка полягає у розсіюванні повної механічної енергії. Кількісно для моменту часу, відповідного закінчення ударного процесу, величина розсіяною енергії становить близько 20%». Доцільно було би проаналізувати можливі причини порушення закону збереження енергії та запропонувати практичні шляхи по усуненню цього протиріччя.

Слід зазначити, що зазначені наведені вище зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи в цілому.

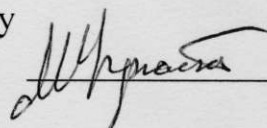
ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Світличного Сергія Петровича «Моделі взаємодії м'якого тіла з перешкодою і результати їх дослідження», є завершеною науковою роботою, присвяченою вирішенню важливого наукового завдання розробки чисельної моделі контактної взаємодії м'якого тіла з лопаткою авіаційного двигуна, з метою впровадження у практику проектування надійних і безпечно ушкоджуваних конструкцій лопаток, які відповідають сучасним вимогам авіаційних правил.

Робота не містить плагіату. По своєму змісту робота повністю відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи та профілю спеціалізованої вченої ради Д 64.051.09; результати та висновки дисертаційної роботи повністю відповідають меті та поставленим завданням.

Вважаю, що дисертаційна робота Світличного Сергія Петровича «Моделі взаємодії м'якого тіла з перешкодою і результати їх дослідження» з урахуванням її актуальності, наукового та практичного значення одержаних результатів, обсягу і рівня публікацій цілком відповідає пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567 (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМ №656 від 19.08.2015, №1159 від 30.12.2015, №567 від 27.07.2016) щодо кандидатських дисертацій, а її автор Світличний Сергій Петрович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри теоретичної та
прикладної системотехніки
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна

 /М. Л. Угрюмов/

Підпис доктора технічних наук, професора
Угрюмова М.Л. засвідчую

НАЧАЛЬНИК СЛУЖБИ УПРАВЛІННЯ
ПЕРСОНАЛОМ



