

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ МАШИН, СПОРУД І ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ, ІНСТРУМЕНТІВ ТА МАШИН

**ЛИСКАНИЧ ЮРІЙ ІВАНОВИЧ**

УДК 621.9

**Дослідження 3D-моделі несучої системи фрезерного верстату**

133 Галузеве машинобудування

**Автореферат**  
дипломної роботи магістра

Тернопіль 2019

Роботу виконано на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, ст..викл. кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин  
**Гагалюк Андрій Валерійович**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Рецензент:** кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування  
**Паливода Юрій Євгенович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 27 травня 2019 р. о 12.00 годині на засіданні екзаменаційної комісії №11 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, навчальний корпус №4, ауд. 4-101.

# 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

## а) Актуальність теми роботи.

Корпусні деталі це великогабаритні деталі, які служать для розміщення в них окремих агрегатів і деталей механізму. Ці деталі досить складної форми. До них відносяться:

- Станини, несучі основні вузли машин;
- Рами транспортних машин;
- Корпуси ротаційних машин (турбін, насосів, електродвигунів);
- Циліндри і блоки циліндрів;
- Корпуси редукторів, коробок передач ті інше.

Несуча система верстата складається з послідовного набору з'єднаних між собою базових деталей. З'єднання можуть бути нерухомими (стики) або рухомими (направляючі). Несуча система забезпечує правильність взаємного розташування ріжучого інструмента і температурних чинників.

Корпусні деталі шпіндельних коробок, розточних і фрезерних бабок і головок, упорних кутників і приводів являють собою, в більшості, чавунні виливки. Раціонально розроблена відливка відповідає потребам точності, зменшує вібрації і шуми.

Конструкція корпусної деталі повинна забезпечувати простоту і економічність механічної обробки, мінімальне число технологічних операцій, а також необхідну точність і чистоту обробки поверхонь. Найпродуктивнішим методом дослідження складних об'єктів є метод скінченних елементів (МСЕ).

Походження методу кінцевих елементів простежується до матричного аналізу структур [2,3], де було введено поняття матриці переміщення та матриці жорсткості. Концепції скінченних елементів були розвинені на основі інженерних методів в 1950-х роках. МСЕ отримав найбільший розвиток у 1960-х і 1970-х роках завдяки Джону Арджірісу [4] (з грец. *Йоган Арґіріс*, англ. *J.H.Argyris*) та його колегам з університету Штутгарта (нім. *Universität Stuttgart*), Рею В.Клафу (англ. *R.W.Clough*) з університету Каліфорнії, Берклі (англ. *University of California, Berkeley*) О.С.Зінкевичу [6, 17, 18] (пол. *O.C.Zienkiewicz*) з співробітниками Е.Хінтоном (англ. *Ernest Hinton*), Б.Айронсом (англ. *Bruce Irons*) та іншими з університету Уельса Суонсі, Сполучене королівство (англ. *Swansea University, Wales, UK*), Філіппом Г.Сарле (фр. *Philippe G. Ciarlet*) з університету П'єра і Марії Кюрі (франц. *Université Pierre-et-Marie-Curie*) та Р.Галахером (англ. *Richard Gallagher*) з співробітниками з Корнельського університету (англ. *Cornell University, NY, USA*). Проте оригінальні праці Д.Арджіріса [4] і Р.Клафа [5] стали основою методів сучасного скінченно-елементного структурного аналізу.

МСЕ дозволяє проектувати, налаштовувати та оптимізувати продукцію перед її випуском. Цей засіб проектування відчутно покращив стандарти інженерних проектів та методологію цього процесу у багатьох сферах.

Загалом, перевагами МСЕ є збільшення точності, покращення дизайну і краще бачення його критичних параметрів, створення віртуальних прототипів, зменшення кількості реальних прототипів, пришвидшення та здешевлення

проектування, збільшення продуктивності та прибутковості.

Застосування МСЕ привело до виникнення біонічного (генеративного) дизайну. Біонічний (топонімічний, генеративний) дизайн – спосіб проектування об'єктів, при якому для зниження маси і збільшення міцності застосовуються відмінні від традиційних методи вирішення задачі.

Головною метою біонічного дизайну – зниження маси об'єкта при збереженні (або збільшенні) вихідної стійкості. Тому цей метод найчастіше використовують в сферах, де необхідно економити масу: космічні апарати, авіабудівництво, інноваційне машинобудування.

#### **б) Мета і завдання.**

*Мета роботи:* дослідити вплив зменшення маси станини верстата на її жорсткість та переміщення вузлів верстата.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- Провести літературний пошук по оптимізації станин;
- описати схеми обробки, компоновки, типові конструкції фрезерних верстатів, типи й габарити;
- описати алгоритм проведення дослідження;
- виконати 3D модель несучої системи фрезерного верстата;
- дослідити 3D модель статичним аналізом;
- виконати оптимізацію конструкції;
- виконати порівняння.

#### **с) Об'єкт, методи та джерела дослідження.**

**д) Об'єкт дослідження** – несуча система фрезерного верстату.

**е) Предмет дослідження** – вплив зменшення маси станини верстату на жорсткість..

*Методи дослідження.* Проведення теоретичних досліджень базується на методах математичного моделювання, морфологічного аналізу та синтезу технічних систем, теоретичних основ теорії різання металів, розрахунку точності базування, закріплення і точності оброблення, а також на основі інженерної творчості та вибору раціональних технічних рішень..

#### **ф) Наукова новизна отриманих результатів.**

доведено можливість використання 3D-моделювання і генеративного дизайну при проектуванні несучих систем верстата.

#### **г) Практичне значення отриманих результатів.**

Результати проведених досліджень та інженерного розрахунку доцільно використати для аналізу поведінки конструкцій верстату.

#### **h) Апробація.**

Результати досліджень за тематикою магістерської роботи доповідались на Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 26-27 квітня 2018 р.) і опубліковані в збірнику:

1. Лисканич Ю. І. Використання CAD/CAM технологій Autodesk в навчальному процесі / Лисканич Ю. І., Небога В. І. // Збірник тез Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні

питання“, 26-27 квітня 2018 року. — Т. : ТНТУ, 2018. — Том 1. — С. 208–209. — (Машинобудування).

2. Лисканич Ю. І./Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, «ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТОХАСТИЧНОСТІ ПОДАЧ НА СИЛУ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ»./Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково – технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 28 – 29 листопада 2018 року. – Т. : ТНТУ, 2018. Том I, 232 ст.

- i) **Структура роботи.** Робота складається із вступу, 9 розділів, висновків, списку літератури (48 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 169 сторінок, 31 таблиць, 72 рисунків.

## 2. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

a) У **Вступі** означено актуальність теми магістерської роботи, визначено мету роботи, а також сформульовано завдання, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети та комплексного наповнення дипломної роботи магістра.

b) **Перший «АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ»** описує попередньо проведені наукові теоретичні та практичні дослідження за дослідною тематикою магістерської роботи. Подано опис конструкцій і класифікацію фрезерних верстатів і надано їх технічні характеристики. Значна увага приділена консольно-фрезерним верстатам. Описано поняття методу скінченних елементів та його переваги і недоліки.

c) У другому розділі **«ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ І ОПТИМІЗАЦІЯ ЙОГО КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ»** проведено аналіз конструкторсько-технологічних особливостей однієї із деталей, яку обробляють на досліджуваному верстаті, проведені технологічні розрахунки, здійснено аналіз формоутворюючих схем, які реалізуються на цьому верстаті при виготовленні цієї деталі. Сформовано структурно-кінематичну схему досліджуваного верстата. Приділено увагу аналізу компоновок верстатного обладнання подібного типу. Обґрунтовано обрання найбільш раціонального варіанту компоновки верстата для обраного типу верстатного обладнання.

d) У третьому розділі **«ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ НА РОЗРОБКУ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК»** здійснено комплекс технологічних розрахунків щодо аналізу точності механічної обробки при раціональному підборі системи базування деталі та оптимального проектування раціонального варіанту технологічного процесу механічної обробки деталі-представника. Розраховано режими різання на різні операції механічної обробки, які є вихідними даними для розробки наступного розділу дипломної роботи.

e) **Четвертий розділ «ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ»** включає необхідний комплекс проектних розрахунків, які пов'язані із розробкою кінематичного ланцюга приводу головного руху верстата, детальним проектним розрахунком елементів конструкції ШВ верстата.

f) У п'ятому розділі **«НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ»** проведено 3D – моделювання конструкції несучої системи фрезерного верстату 6M12П, а

саме станини та консолі. Проведено статичний аналіз корпусу верстата та оптимізацію його форми. З отриманих графіків можна оцінити відхилення кінця шпинделя до і після оптимізації форми і зменшенню маси.

г) **Шостий розділ «СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ (комп'ютерні розрахунки та автоматизоване проектування)»** містить дані про проектування шпиндельного вузла верстата та розрахунку його жорсткості.

h) **Сьомий розділ «ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ»** містить алгоритм економічних розрахунків, які доводять економічну ефективність прийнятих технічних впроваджень. Розрахунковий економічний ефект становить 514834,89 грн. на рік.

i) **Восьмий розділ «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ»** містить інструкцію з охорони праці при роботі на фрезерних верстатах. А підрозділ безпека в надзвичайних ситуаціях, описує рекомендації при виникненні надзвичайних ситуацій.

j) **Дев'ятий розділ «ЕКОЛОГІЯ»** описує актуальність охорони навколишнього середовища, забруднення довкілля, яке виникає внаслідок реалізації дипломного проекту та заходи по зменшенню забруднення.

### **3. ВИСНОВКИ**

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки та рекомендації:

1. Використання методу генеративного моделювання, який поширений в аерокосмічній промисловості, де зменшення маси деталі при збереженні її несучої здатності надзвичайно важливе, доцільно застосувати при проектуванні несучих систем верстатів.
2. Методи скінченних елементів в сукупності з процесом генеративного моделювання незамінні при оптимізації конструкцій станин.
3. Зменшення маси станини не впливає на загальну жорсткість несучої системи верстата, яка в більшості залежить від розташування ребер жорсткості, а не від загальної маси.
4. З використанням процесу генеративного моделювання масову частку металу у верстаті можна зменшити до 20% із збереженням заводських геометричних характеристик.
5. Метод генеративного моделювання дозволяє отримати нові оптимізовані форми деталей сітчастої структури.
6. Результати моделювання відхилень на кінці шпинделя при навантаженнях до і після оптимізації покращились з 0,04224 мм до 0,03172 мм.

### **4. ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

1. Шпиндельные узлы агрегатных станков: Альбом/ Н. М. Вороничев, Г. И. Плашей, С. С. Гиндин и др. – М., : Машиностроение, 1983 – 180 с., ил. ст. 6.
2. Matrix Analysis Of Framed Structures, 3rd Edition by Jr. William Weaver, James M. Gere, Springer-Verlag New York, LLC, ISBN 978-0-412-07861-3, 1966

3. Theory of Matrix Structural Analysis, J. S. Przemieniecki, McGraw-Hill Book Company, New York, 1968
4. Argyris, J.H and Kelsey, S. Energy theorems and Structural Analysis Butterworth Scientific publications, London
5. Clough, R.W, "The Finite Element in Plane Stress Analysis."
6. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics, Zienkiewicz O. C and Taylor R L ISBN 978-0-7506-6321-2, 1967, McGraw Hill, New York
7. Finite Element Structural Analysis, T.Y.Yang, Prentice-Hall, Inc, Englewood, NJ, 1986
8. Wiley: Programming the Finite Element Method, 5th Edition - I. M. Smith, D. V. Griffiths, L. Margetts. *eu.wiley.com*. Процитовано 2015-09-18.
9. Електронний ресурс  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод\\_скінченних\\_елементів](https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод_скінченних_елементів)
10. Метод конечных элементов: теория, алгоритмы, реализация / В.А.Толок [и др.]. К.: Наук. думка, 2003. 316 с.
11. Оптимізація вузлів і деталей верстатів та машин за допомогою модуля «анализ напряжений» Autodesk Inventor: Навчальний посібник/ В. М. Гейчук, К. М. Рудаков. Київ НТУУ «КПІ» 2016р.
12. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. 656 с.
13. Трудомісткість конструювання та виготовлення металорізальних і деревообробних верстатів: Навчальний посібник/ П.Д. Кривий, М.В. Шарик, І.П. Сотник.
14. Оптимізація вузлів і деталей верстатів та машин за допомогою модуля «АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ» AUTODESK INVENTOR: Навчальний посібник/ В.М. Гейчук, К.М. Рудаков., НТУУ «КПІ», 2016р.
15. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. / Пер. с англ. Б.И. Квасова; Под ред. Н.С. Бахвалова. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
16. Bathe K.J. Finite Element Procedures. – Prentice Hall, 1996. – 1037 p
17. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method. Volume 1: The Basis. – Oxford: BH, 2000. – 689 p.
18. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method. Volume 2: Solid Mechanics. – Oxford: BH, 2000. – 459 p.
19. Опір матеріалів: Підручник / Г.С.Писаренко, О.Л.Квітка, Е.С.Уманський; За ред. Г.С.Писаренка. – К.: Вища шк., 1993. – 655 с.
20. Лисканич Ю.І. Використання CAD/CAM технологій Autodesk в навчальному процесі / Лисканич Ю. І., Небога В. І. // Збірник тез Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 26-27 квітня 2018 року. – Т.: ТНТУ, 2018. – Том 1. – С. 208–209.
21. Лисканич Ю.І. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, «ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТОХАСТИЧНОСТІ ПОДАЧ НА СИЛУ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ»./Збірник тез доповідей

VII Міжнародної науково – технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 28 – 29 листопада 2018 року. – Т. : ТНТУ, 2018. Том I, 232 ст.

22. Ачеркан Н.С. Расчет и конструирование металлорежущих станков / Н.С. Ачеркан. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машгиз, 1952. 745 с.
23. Решетов Д.Н. Станины и корпусные детали металлорежущих станков (Расчет и конструирование) / В.В.Каминская, З.М.Левина, Д.Н.Решетов. – М.: Машгиз, 1960. 187 с.
24. Дубиняк С.А. Розрахунок передач, валів, муфт і тягових пристроїв металорізальних верстатів. Методичні рекомендації по курсовому та дипломному проектуванню МРВ для студентів спеціальності 0506 / С.А.Дубиняк, С.Г.Нагорняк, І.Д.Дубецький. – Тернопіль, 1981. 62 с.
25. Баничук Н.В. Введение в оптимизацию конструкций. – М.: Наука, 1986. – 303с.
26. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник / И.А.Биргер, Б.Ф.Шорр, Г.Б.Иосилевич. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1993. - 640 с.

## 5. АНОТАЦІЇ

Лисканич Ю.І. Дослідження 3D-моделі несучої системи фрезерного верстату. 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2019 р.

У дипломній роботі розглянуті питання, які пов'язані з аналізом жорсткості несучої системи верстата, процесу механічної обробки деталі, дослідженням формоутворення та розробкою оптимальної конструкції несучої системи верстата за допомогою програмного забезпечення Autodesk Inventor, зокрема модуля генеративного дизайну. Виконано 3D моделювання корпусу (станини) фрезерного верстата. Виконано статичний та модальний аналіз корпусу верстата.

Ключові слова: метод скінченних елементів, несуча система, верстат, інструмент, жорсткість, переміщення

Lyskanych Yu.I. Study of a 3D model of a milling machine framework. 133 – Sectoral engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2018.

The thesis deals with issues related to the analysis of the rigidity of the framework system, the machining process of the part, the study of forming and the development of the optimal design of the framework system of the machine using the software Autodesk Inventor, in particular the module of generative design. The 3D modeling of the body (frame) of the milling machine is executed. Had performed a static and modal analysis of the machine's framework.

Keywords: finite element method, framework system, machine tool, tool, stiffness, displacement.