

РОЗРАХУНОК ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ЛОПАТЕЙ ВЕНТИЛЯТОРА В SOLIDWORKS SIMULATION

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У доповіді розглянуто метод дослідження власних коливань деталей в програмі Solidworks. Описано результати розрахунку власних коливань лопатей вентилятора у модулі програми Solidworks Simulation. Показано значення модального аналізу та запропоновано шляхи для уникнення резонансу.

Ключові слова: власні коливання, лопаті вентилятора, Solidworks.

Abstract

The report discusses the method of studying the natural vibrations of parts in the Solidworks program. The results of calculating the natural vibrations of fan blades in the Solidworks Simulation module are described. The value of modal analysis is shown and ways to avoid resonance are proposed.

Keywords: natural oscillations, fan blades, Solidworks.

Вступ

У багатьох інженерних галузях (машинобудування, теплотехніці чи авіація) вібраційна надійність деталей має вирішальне значення [1, 2]. Одним із основних етапів динамічного аналізу є визначення власних частот і форм коливань деталі [3, 4]. Зокрема, для вентилятора, який обертається з високими швидкостями, знання власних коливань критично важливе для попередження резонансу — небезпечного явища, що може спричинити руйнування лопатей, дисбаланс або зниження ресурсу виробу [5].

Програма Solidworks з модулем Simulation забезпечує потужні інструменти для проведення модального аналізу, що дозволяє інженеру [6, 7] заздалегідь передбачити динамічну поведінку деталі в робочих умовах та уникнути критичних ситуацій [8, 9, 10].

Метою роботи є розрахувати власні коливання лопатей вентилятора для попередження резонансних явищ під час його роботи.

Результати дослідження

У результаті проведеного частотного аналізу лопатей вентилятора в SolidWorks Simulation було отримано ключові динамічні характеристики — власні частоти та форми коливань. Ці параметри мають вирішальне значення для забезпечення безпечної, стабільної та довговічної роботи вентилятора, особливо у випадках високошвидкісного обертання або циклічного навантаження [11, 12]. Частотний аналіз дозволяє не лише оцінити поведінку деталі під дією власних вібрацій, але й запобігти небезпечним явищам резонансу.

Математична модель власних коливань описується наступним чином. Вільні коливання механічної системи без демпфування описуються матричним рівнянням:

$$M\ddot{u}(t) + Ku(t) = 0, \quad (1)$$

де M — матриця мас системи; K — матриця жорсткості; $u(t)$ — вектор переміщень у часі; $\ddot{u}(t)$ — вектор прискорень.

Розв'язок цього рівняння знаходимо у вигляді гармонічної функції:

$$u(t) = Ue^{i\omega t}, \quad (2)$$

де ω – власна кутова частота коливань; U – вектор амплітуди.

Після підстановки отримаємо алгебраїчну задачу на власні значення:

$$(K - \omega^2 M) U = 0. \quad (3)$$

Ця задача має нетривіальний розв'язок тоді, коли:

$$\det (K - \omega^2 M) = 0. \quad (4)$$

Розв'язок цього рівняння дає значення $\omega_1^2, \omega_2^2, \dots, \omega_n^2$ — квадратів кутових частот, відповідно до яких обчислюються власні частоти:

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

У середовищі Solidworks Simulation рівняння (1) - (5) реалізуються автоматично після побудови FEM-моделі. Для побудови FEM-моделі використаємо змодельовані лопаті вентилятора із поліпропілену та виконаємо закріплення його згідно центрального отвору. Після накладання сітки на тривимірну модель проводимо імітаційне моделювання спочатку для 20 частот. Результат моделювання для першої форми власних коливань показано на рис. 1.

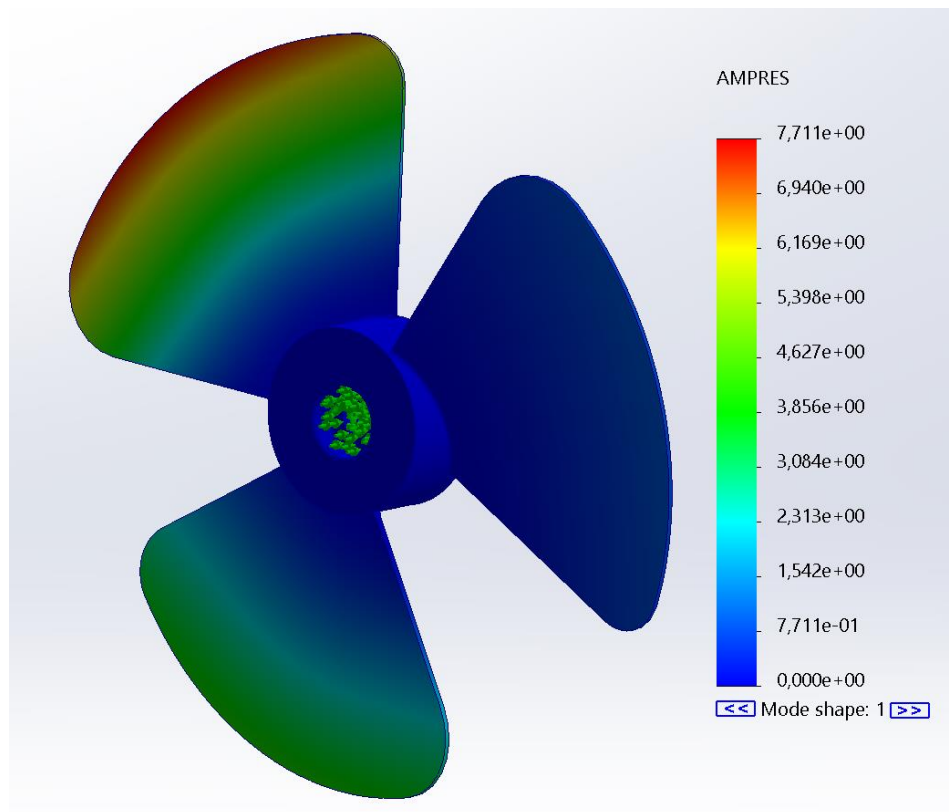


Рис. 1. Перша форма власних коливань (вигин лопатей)

Маючи розрахунок для перших 20 власних частот побудуємо графік впливу частоти на коефіцієнт масової участі (див. рис. 2). Отримаємо значення зростання коефіцієнту масової участі (більше 24%) по вертикальній осі Z при частоті 30,18 Гц. Коефіцієнт масової участі є відсотком маси системи, яка бере участь в коливаннях у певному режимі. Режим з великим значенням коефіцієнта масової участі зазвичай робить значний внесок у динамічну реакцію системи. Щоб мати повну картину резонансних частот роботи, необхідно розрахувати сумарне значення коефіцієнта масової участі більше 80%.

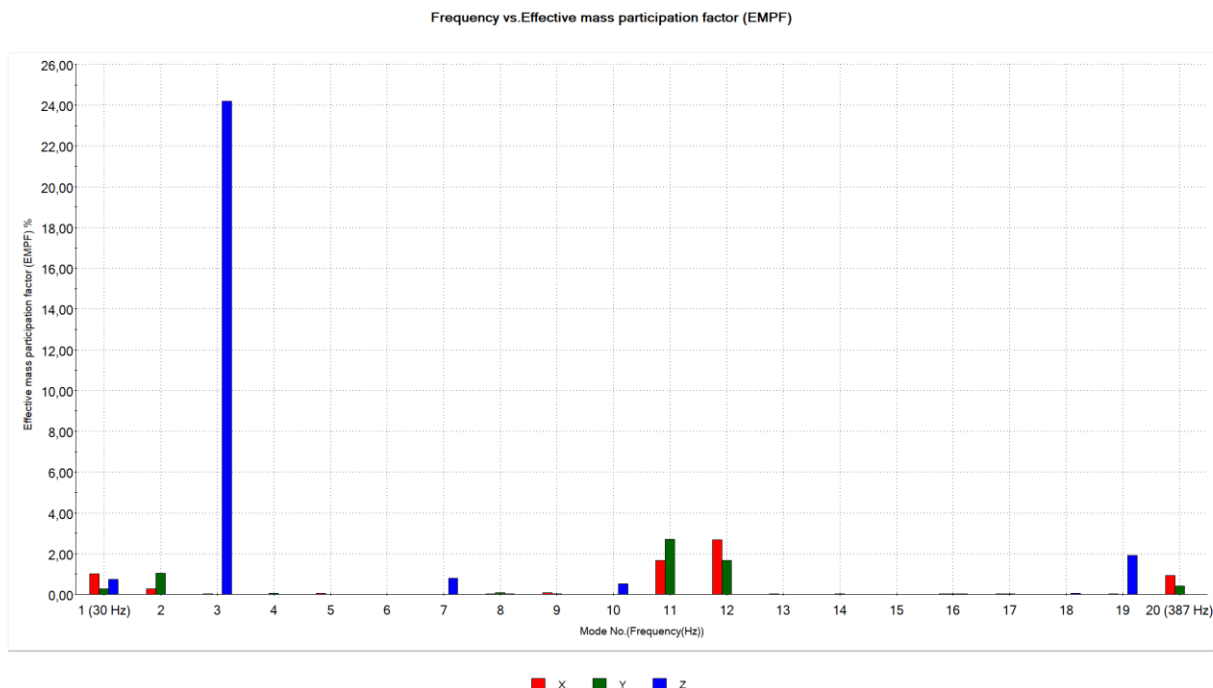


Рис. 2. В межах 20 частот показано вплив частоти на коефіцієнт масової участі

На рисунку показано графік частоти від результуючого коефіцієнта масової участі при дослідженні 250 частот (див. рис. 3). В результаті сумарне значення коефіцієнта масової участі перевищує 80%, тому виділимо основні частоти, які перевищують зростання коефіцієнта масової участі більше ніж на 20%: 30,18 Гц та 1777,9 Гц. Ці частоти можуть викликати резонанс для лопатей вентилятора.

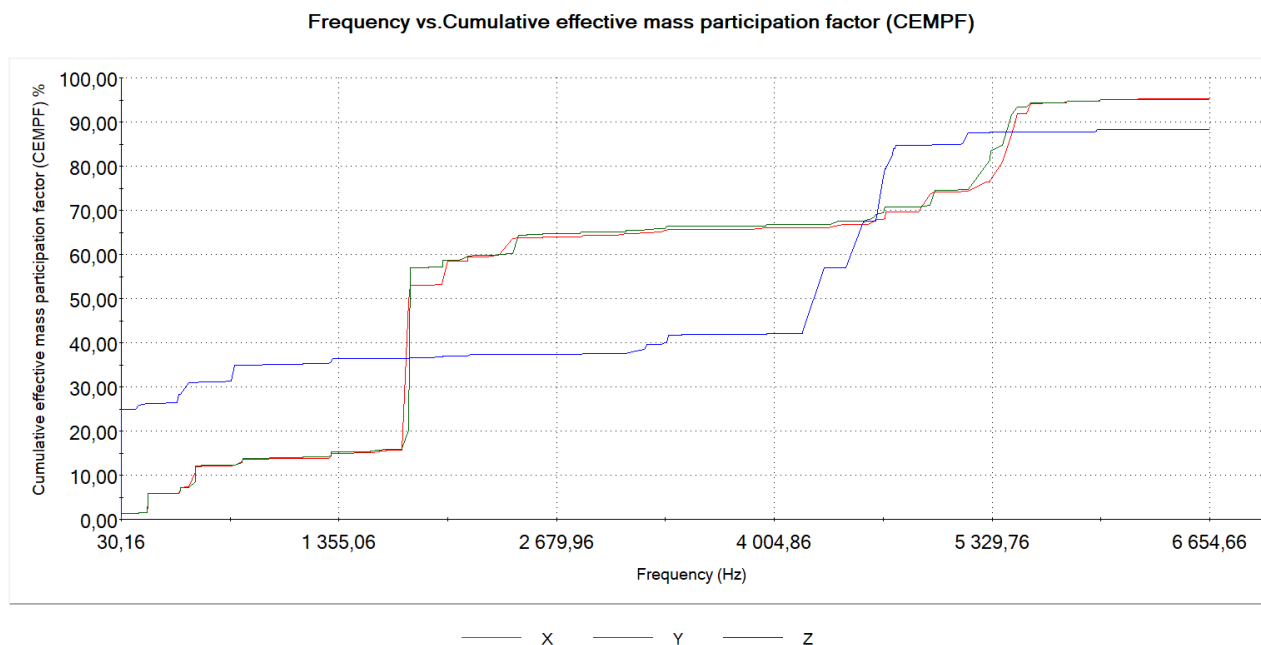


Рис. 3. Графік частоти від результуючого коефіцієнта масової участі

Висновки

Розглянуто математичну модель для розрахунку власних коливань. Виконано дослідження частотного аналізу лопатей вентилятора з поліпропілену в модулі програми Solidworks Simulation. Знайдено

дві власні частоти, які суттєво можуть впливати на динаміку реакції системи: 30,18 Гц та 1777,9 Гц. Запропоновано уникати використання резонансних частот під час роботи вентилятора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Піонткевич О. В., Сухоруков С. І., Сердюк О. В., Домославський В. М. Про лазерний технологічний комплекс на машинобудівному підприємстві. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця: ВНТУ, 2022. № 2. С. 96-100.
2. Vishtak I. V., Petrov O. V., Savulyak V. I., Sukhorukov S. I. Influence of the profile of longitudinal grooves of various depths on increasing static characteristics of radial gas bearings. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* Vol. 1060, No. 1, 2021. P. 012011
3. Корендій, В. М. Історія і сучасний стан використання тихохідних багатолопатевої вітроустановок у сільському господарстві. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*, (11 (1)), 2012. С. 332-338.
4. Коц І.В., Березюк О.В. Вібраційний гідропривод для пресування промислових відходів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 5. – С. 146-149.
5. Корендій, В. М. Коливні процеси лопатей вітроустановок. Вібрації в техніці та технологіях. № 1(65), 2012. С 5-10.
6. Хом'юк В. В., Хом'юк І. В. Компетентностно-орієнтовані завдання як важливий чинник формування когнітивної складової математичної компетентності майбутніх інженерів. *Збірник наукових праць "Актуальні питання природничо-математичної освіти". Вип. 1*, 2017. С. 107–114.
7. Хом'юк І. В., Хом'юк В. В. Математичне моделювання в контексті здійснення між предметних зв'язків курсу вищої математики у ВНЗ. *Збірник наукових праць «Актуальні питання природничо-математичної освіти». Вип. 2*, 2017. С. 43–50.
8. Піонткевич О. В., Березюк О. В., Лозінський Д. О., Кавецький О. І. Застосування CAD/CAE-системи Autodesk Inventor для удосконалення фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Вінниця : ВНТУ, 2025. Вип. 1. С. 1–9. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-1-178-186>*
9. Петров О. В., Піонткевич О. В., Буда А. Г., Коломієць В. С. Застосування CAD/CAE-системи Solidworks у задачах аналізу міцності деталей верстатних пристосувань. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2024. Вип. 19. № 1. С. 95–102.
10. Поліщук Л. К. Аналіз впливу параметрів системи керування на динамічні процеси гідропривода стрічкового конвеєра [Текст] / Л. К. Поліщук, О. В. Піонткевич, О. О. Коваль // Промислова гідроліка і пневматика, 2016. № 2(52). С. 37-47
11. Піонткевич О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В., Савуляк В. В. Забезпечення результатів вивчення CAD/CAE/CAM систем для підготовки фахівців із спеціальності «Прикладна механіка». Матеріали XVI Міжнародної науково-методичної конференції «Сучасна освіта - доступність, якість, визнання», 13–14 листопада 2024 р. Краматорськ-Вінниця-Тернопіль, Краматорськ : ДДМА, 2024. С. 247-252.
12. Березюк О.В. Науково-технічні основи проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів: автореф. дис. д-ра техн. наук. Хмельницький, 2021. 46 с.

Райчук Олег Сергійович — здобувач вищої освіти групи 2ПМ-24б, Факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Горбачов Антон Сергійович — аспірант групи 131-24а, Інститут докторантури та аспірантури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Науковий керівник: **Хом'юк Віктор Вікторович** — к. техн. наук, доцент кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: khomyuk@vntu.edu.ua

Raichuk Oleh S. — student of group 2PM-24b, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Horbachov Anton S. — postgraduate of Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: **Khomiuk Viktor V.** — Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: khomyuk@vntu.edu.ua