

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОСПРЯЖЕНИХ РОТОРІВ ПОВІТРОДУВОК ТИПУ РУТС

У роботі розглянуті питання геометричного моделювання та візуалізації профілів головок і западин трилопатевих роторів повітродувки типу Рутс. На базі запропонованого методу геометричного моделювання взаємоспряжених роторів розроблені відповідні програми, написані об'єктно-орієнтованою мовою Borland Pascal with Objects 7.0 для проведення розрахунків і мовою AutoLisp для формування в середовищі проектування AutoCAD просторового зображення змодельованих роторів.

Ключові слова: моделювання геометричне, візуалізація, ротори взаємоспряжені, повітродувка типу Рутс.

Повітродувки типу Рутс широко застосовуються в різних галузях промисловості та сільському господарстві, де є потреба в повітрі або газі невеликого тиску. Ці повітродувки є безклапанними нагнітальними машинами об'ємного типу, в яких два ідентичних симетричних ротори з лопатнями обертаються в протилежних напрямках всередині корпусу, що складається з двох півциліндрів. Стиснення відбувається зворотним потоком газу з області нагнітання в той момент, коли лопать ротора з'єднує відсічену порцію газу з областю нагнітання.

Основними перевагами повітродувки типу Рутс є простота їх конструкції (мала кількість деталей і мала швидкість обертання роторів роблять такі повітродувки дуже довговічними), компактність, ефективність роботи в широкому діапазоні обертів роторів.

Але у дволопатевої повітродувки є суттєвий недолік – це вібрація під час роботи. З метою поліпшення вібраційних характеристик повітродувки доцільно замість дволопатевої роторів застосувати трилопатеві ротори, що згладжує нерівномірність подачі повітря і пульсацію тиску.

Принцип роботи повітродувки схематично відображений на рис. 1, на якому темним кольором показано переміщення зон підвищеного тиску.

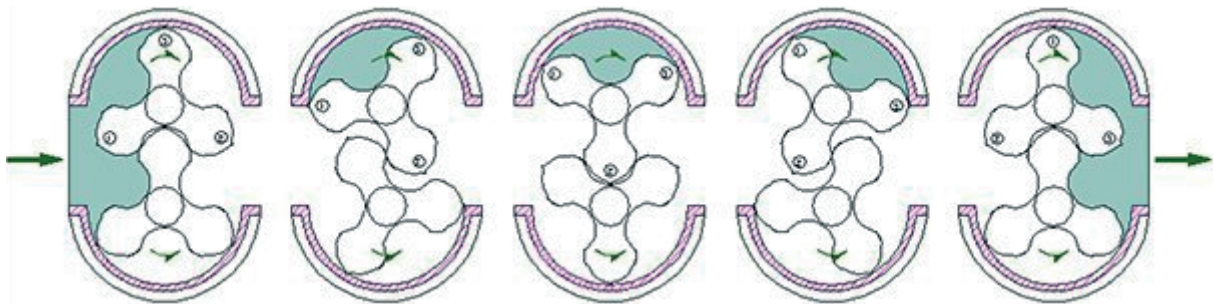


Рис. 1. Принцип роботи повітродувки

З розгляду цього рисунку можна зробити висновок, що одним з основних питань, які необхідно розв'язувати при розробці проектів повітродувки, є питання геометричного моделювання взаємоспряжених роторів, які мають обертатися навколо своїх осей без заклинювання і прослизання.

Публікації, присвячені геометричному моделюванню робочих органів повітродувки типу Рутс у сучасній літературі майже відсутні. Це пояснюється тим, що вважалося, що усі питання, пов'язані з проектуванням повітродувки, вирішені. Але це відносилось до повітродувки з дволопатевою роторами. Боротьба з вібраційними явищами примусила проєктантів цих газодинамічних машин перейти до конструкцій з трьома лопатями. Однією з класичних публікацій, присвячених питанням проектування роторних нагнітачів, є монографія А. М. Каца [2], яка була оприлюднена в середині минулого століття. Більш сучасні результати з дослідження об'ємних роторних компресорів, у тому числі і повітродувки, наведені в роботі [3]. Теоретичні питання, присвячені моделюванню робочих органів

роторних компресорів, розглянуті в роботі В.В. Ямінського [4]. Із останніх робіт, присвячених повітродувкам, можна зазначити статтю [1].

Метою цієї статті є подальший розвиток питань, пов'язаних з геометричним моделюванням та візуалізацією на ПЕОМ трилопатевих роторів повітродувок типу Рутс, що дозволить поліпшити якість проектів і надійність роботи цих газодинамічних машин. Збільшення кількості лопатей суттєво ускладнює геометрію роторів повітродувок, що відповідно, вимагає розробки методу їх геометричного моделювання.

Розвиток комп'ютерної техніки, програмного забезпечення надає користувачеві широкі можливості щодо візуалізації результатів геометричного моделювання, що піднімає на якісно новий рівень розв'язання геометричних задач. Графічне подання отриманих результатів краще будь-яких інших допоміжних засобів робить очевидними складні внутрішні закономірності, які відбуваються у виробі, що виникають у робочій зоні повітродувки.

Вище відмічалось, що при розробці проектів повітродувок особливу увагу треба приділяти геометричному моделюванню взаємоспряжених роторів і, в першу чергу, лопатям, які при обертанні навколо своїх осей мають рухатися без заклинювання і прослизання.

Моделювання робочих органів повітродувок здійснюється в два етапи. Спочатку виконується так зване теоретичне моделювання, коли лопаті будуються без урахування зазорів в проточній частині, тобто розв'язується чисто теоретична задача. Потім профілі лопатей коригуються на задану величину зазору як між взаємоспряженими роторами, так і між роторами та корпусом повітродувки.

За аналогією з роботою [2] уведемо поняття початкового кола роторів, під яким розуміють зв'язані з роторами уявні кола, що котяться один по одному без прослизання. Частини роторів, що знаходяться зовні початкового кола називаються головками, усередині – западинами.

Моделювання роторів повітродувок починають із визначення співвідношень між їх основними геометричними параметрами (рис. 2), до яких відносяться радіус початкового кола ротора R , зовнішній радіус ротора R_m , радіус головки r , кількість лопатей ротора z . Кут α і α_r потрібні для моделювання профілю ротора і обчислюються наступним чином:

$$\alpha = \frac{\pi}{2z}; \quad \alpha_r = \pi - \arccos\left(\frac{R_m - R \cos \alpha}{r} - 1\right).$$

Профіль головки ротора можна описувати довільною кривою, але обов'язково потрібно, щоб ця крива проходила через точки A , B і C та була симетричною відносно лінії O_1O_2 . Форма западини визначається як обвідна лінія профілю головки. На практиці найчастіше використовуються ротори, профілі головок яких подаються дугами кіл.

За вихідні дані до геометричного моделювання приймаються параметри R , z і m . Під параметром m розуміється відношення радіуса початкового кола до зовнішнього радіуса ротора, тобто $m = R/R_m$.

Значення радіуса головки обчислюється за таким співвідношенням

$$r = R_m - \frac{R_m^2 - R^2}{2(R_m - R \cos \alpha)}.$$

Визначення геометрії обводів профілів здійснюється з використанням деякого параметра ξ , який дозволяє встановлювати взаємний зв'язок між координатами x , y довільної точки профілю в перерізі, що розглядається:

$$x = r \cos \xi + R_m - r; \quad y = r \sin \xi,$$

в якому параметр ξ змінюється від $-\alpha_r$ до α_r .

Для профілювання роторів вибираємо системи координат, жорстко зв'язані з ними: ліву систему координат $x_1O_1y_1$, де через O_1 проходить вісь обертання першого ротора та праву систему координат

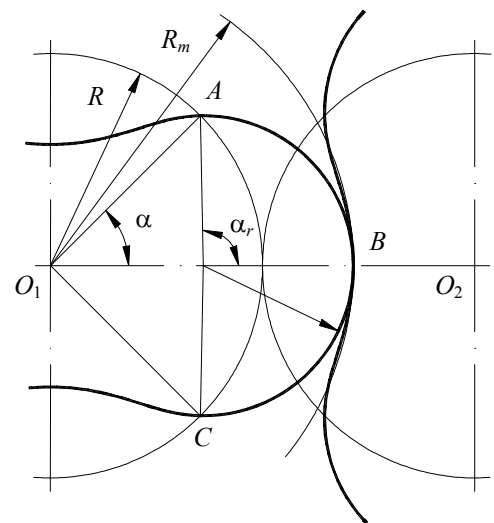


Рис. 2. Співвідношення

$x_2O_2y_2$ – для другого ротора (рис. 3). Обидві системи координат є ортогональними. Застосування правих і лівих систем координат обумовлено обертанням роторів в різні сторони.

При розрахунках координат точок профілів необхідно переходити від локальної системи координат до системи $x_1O_1y_1$ або $x_2O_2y_2$ в залежності від номера ротора, що розглядається.

Основні підходи до геометричного моделювання взаємоспряжених роторних компресорів подані в роботі [4].

Розглянемо моделювання обвідної лінії профілю. Нехай крива, що описує профіль, задана в параметричному вигляді:

$$x = f_x(\xi); \quad y = f_y(\xi),$$

де ξ – деяка криволінійна координата.

Оскільки ротор повітродувки обертається навколо своєї осі, то для знаходження координат точок кривої при довільному куті повороту ротора, доцільно ввести деякий параметр φ , що приводить до такого параметричного рівняння:

$$x = F_x(\xi, \varphi); \quad y = F_y(\xi, \varphi).$$

Рівняння обвідної знаходиться виключенням з рівняння кривої обводу параметра φ . Зв'язок між параметрами φ і ξ визначається за умови, що

$$\frac{\partial(F_x, F_y)}{\partial(\xi, \varphi)} = 0.$$

Використовуючи формули переходу від першого ротора до другого, одержимо рівняння сім'ї миттєвих положень профілю першого ротора в системі координат, зв'язаній з другим ротором:

$$\left. \begin{aligned} x_{\text{пр}_2} &= 2R \cos \varphi - f_x(\xi) \cos[2\varphi + \gamma] + f_y(\xi) \sin[2\varphi + \gamma]; \\ y_{\text{пр}_2} &= -2R \sin \varphi + f_x(\xi) \sin[2\varphi + \gamma] + f_y(\xi) \cos[2\varphi + \gamma]. \end{aligned} \right\}$$

Профіль лопаті ротора формується з z однакових частин (рис. 4), які в свою чергу складаються з двох ділянок: головки 1 та западини 2 .

Рівняння кривої, що описує головку профілю, задається, а кривої, що подає западину, знаходиться як рівняння обвідної лінії для спряжених роторів. Потрібно знайти рівняння обвідної лінії та параметри, які характеризують криву, що подає головку ротора.

Моделювання профілю виконується в такій послідовності. Спочатку визначається крива головки ротора та знаходяться початкове ξ_1 і кінцеве ξ_2 значення параметра. Потім знаходиться рівняння обвідної лінії. Значення початкового та кінцевого параметрів для неї дорівнює відповідним параметрам кривої, що подає головку профілю ротора.

У загальному випадку, стосовно повітродувки типу Рутс, рівняння обвідної для довільної кривої, заданої в параметричному вигляді, має вигляд:

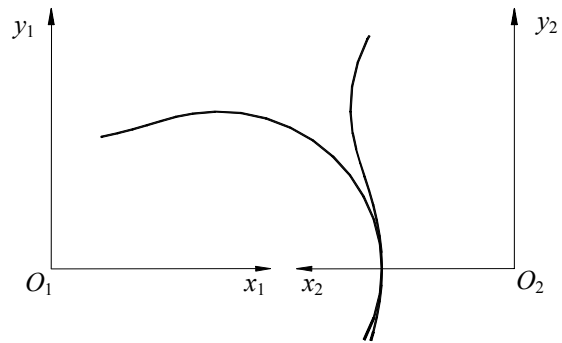


Рис. 3. Системи координат

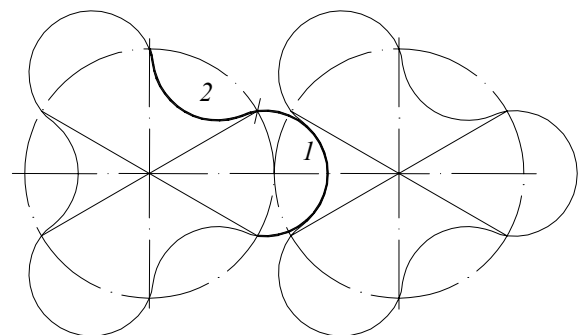


Рис. 4. Формування ротора

$$x_{об} = [2R - Cx(\xi) + Sy(\xi)] \cos \chi + [Sx(\xi) + Cy(\xi)] \sin \chi;$$

$$y_{об} = [Sx(\xi) + Cy(\xi)] \cos \chi - [2R - Cx(\xi) + Sy(\xi)] \sin \chi,$$

$$\text{де } S = \frac{b_0 x'(\xi) - a_0 y'(\xi)}{c_0}; \quad C = \frac{a_0 x'(\xi) + b_0 y'(\xi)}{c_0}; \quad a_0 = \frac{x(\xi)x'(\xi) + y(\xi)y'(\xi)}{R}; \quad b_0 = \sqrt{c_0^2 - a_0^2};$$

$$c_0 = x'^2(\xi) + y'^2(\xi); \quad \chi = \arcsin S = \arccos C.$$

За запропонованим методом геометричного моделювання роторів повітродувки типу Рутс розроблені програми розрахунку та візуалізації геометричних моделей роторів. Програму розрахунків геометрії лопатей написано мовою програмування Borland Pascal with Objects 7.0. Результатом роботи цієї програми є формування пакетних або *script*-файлів, які містять, крім числової інформації по геометрії профілів, також і відповідні команди середовища проектування AutoCAD.

Візуалізація отриманих результатів з геометричного моделювання взаємоспряжених роторів повітродувки типу Рутс виконувалася в середовищі автоматизованого проектування AutoCAD. Це середовище дозволяє користувачу створювати та редагувати власні меню, програмувати діалогові вікна, а за допомогою команд мови програмування AutoLisp розробляти нові команди або створювати додатки до AutoCAD.

Завантажений в середовище проектування AutoCAD попередньо підготовлений *script*-файл дозволяє відтворити взаємоспряжені ротори повітродувки. Користувач має можливість розглядати результати геометричного моделювання в динаміці, а також бачити взаємоспряжені ротори при довільному куті повороту.

На рис. 5 показані результати візуалізації трилопатевого ротора повітродувки типу Рутс. Ці графічні результати підтверджують працездатність запропонованих підходів до геометричного моделювання взаємоспряжених роторів повітродувки типу Рутс. Розроблені програмні продукти можна пропонувати у практику створення нових повітродувки та модернізації існуючих.

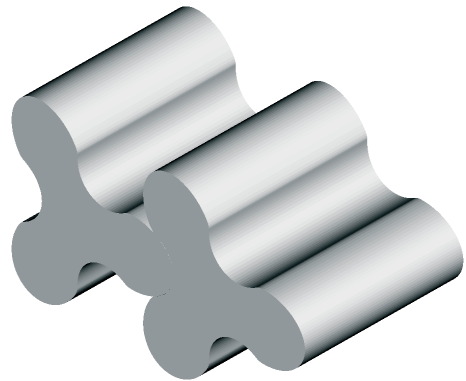


Рис. 5. Результати візуалізації

Розроблено метод і програму розрахунків і візуалізації результатів геометричного моделювання взаємоспряжених роторів повітродувки типу Рутс з теоретичними профілями головок і западин, які можуть бути рекомендовані в практику виготовлення відповідних виробів. Подальшим розвитком досліджень цим напрямом слід вважати удосконалення методу моделювання профілів лопатей з урахуванням зазорів в проточній частині повітродувки.

Список використаних джерел

1. Белов Г. О. Модель воздуходувки Рутса / Г. О. Белов, М. А. Ермилов, А. Н. Крючков // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. — 2012. — № 3 (34). — С. 177—182.
2. Кац А. М. Расчет, конструкция и испытания воздуходувок типа Рутс / А. М. Кац. — М.: Машгиз, 1946. — 160 с.
3. Хисамеев И. Г. Двухроторные винтовые и прямозубые компрессоры: Теория, расчет и проектирование / И. Г. Хисамеев, В. А. Максимов. — Казань: ФЭН, 2000. — 638 с.
4. Яминский В. В. Роторные компрессоры. Вопросы профилирования, теории и расчета / В. В. Яминский. — М.: Машгиз, 1960. — 222 с.

Irina USTENKO
Mykolaiv

MODELLING MUTUALLY CONJUGATE ROTORS OF ROOTS BLOWERS

The paper discusses the questions of geometric modelling and visualization of the profiles heads and troughs three-blade rotors Roots blowers. On the basis of the proposed method of geometric modelling mutu-

ally conjugate rotors developed programs written object-oriented language Borland Pascal with Objects 7.0 for calculations and language AutoLisp to form in AutoCAD the spatial images simulated rotors.

Key words: geometric modelling, visualization, rotors are mutually conjugate, Roots-type blower.

Ирина УСТЕНКО

г. Николаев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОСOPЯЖЕННЫХ РОТОРОВ ВОЗДУХОДУВOK ТИПА РУТС

В работе рассмотрены вопросы геометрического моделирования и визуализации профилей головок и впадин трехлопастных роторов воздуходувок типа Рутс. На базе предложенного метода геометрического моделирования взаимосопряженных роторов разработаны программы, написанные объектно-ориентированным языком Borland Pascal with Objects 7.0 для проведения расчетов и языком AutoLisp для формирования в среде проектирования AutoCAD пространственного изображения смоделированных роторов.

Ключевые слова: моделирование геометрическое, визуализация, роторы взаимосопряженные, воздуходувка типа Рутс.

Стаття надійшла до редколегії 06.03.2016

УДК 004.413

Сергій УСТЕНКО, Владислав ПРАДЕДОВ

м. Миколаїв

ustenko.s.a@gmail.com, sandapter@gmail.com

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБЛІКУ ТА АНАЛІЗУ ПОТОЧНОЇ УСПІШНОСТІ СТУДЕНТІВ

Робота присвячена розробці програмного забезпечення у вигляді сервіс-орієнтованого програмного додатку «Електронний журнал» для автоматизації обліку та аналізу поточної успішності студентів. Об'єктами обліку будуть відвідування занять, оцінки з дисциплін за певними видами контролю (з відміткою дати отримання) та показники готовності студентів до здачі сесії. До електронного журналу матиме доступ тільки викладач і його можна буде заповнити тільки під час проведення занять, що спонукає викладача відмічати присутніх і виставляти оцінки своєчасно, оскільки в іншому випадку заняття буде вважатись пропущеним і йому не буде зараховане навчальне навантаження.

Ключові слова: розробка програмного забезпечення, автоматизація обліку та аналізу, поточна успішність студентів, сервіс-орієнтований додаток, служба, клієнт.

Одним з основних завдань навчальної діяльності вищих навчальних закладів є поточний контроль успішності студентів, періодичність якого може змінюватися в залежності від розв'язуваних управлінських задач. Аналіз результатів поточного контролю дозволяє керівництву навчального закладу здійснювати оперативне управління процесом навчання студентів, процесом протікання сесійного контролю, а також підвищити мотивацію студентів і, як наслідок, якість освіти. Для розв'язання таких задач доцільне введення електронного обліку успішності студентів за допомогою електронного журналу.

У більшості випадків проведення аналізу результатів поточного контролю успішності вимагає значних тимчасових витрат, пов'язаних з необхідністю ретельної організації процесів збору і обробки великого обсягу оперативної інформації. В роботі [6] розглянуто процес розробки онтології підсистеми оперативного контролю поточної успішності студентів.