

С. О. Темченко

# МЕТОД ПРОЕКТУВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ КАНАЛІВ ДОВІЛЬНОЇ ФОРМИ

*У статті описано новий метод, який дозволяє розраховувати вісесиметричну течію у кільцевих каналах довільної форми та проектувати їх під задані аеродинамічні умови.*

**Ключові слова:** обернена задача, вісесиметрична течія, поверхня течії.

## 1. Вступ

Дослідження, про які йдеться у доповіді відносяться до галузі машинобудування. Зокрема ККД турбомашин багато в чому визначається газодинамічною ефективністю їх проточних частин, важливими елементами яких є перехідні та вихідні канали. Інформацію що до газодинамічної ефективності вісерадіального кільцевого каналу можна отримати за допомогою фізичного експерименту або сучасних CFD програм. Однак експериментальні дослідження неможливі без залучення значних коштів і часу, а CFD програми вимагають їх верифікації за базами експериментальних даних. Це ускладнює вирішення проблеми поліпшення аеродинамічних характеристик таких каналів. Тому підвищення ефективності вісерадіальних кільцевих каналів обумовлює необхідність не тільки автоматизації процесу проектування, а й перегляду підходів до самого процесу проектування, використовуючи якісно нові методи розрахунку течії. Метод розв'язування оберненої задачі має великі перспективи, бо дозволяє отримувати геометричні межі кільцевих каналів, що мають високу аеродинамічну якість. При цьому значно скорочується час, що витрачається на проектування та доведення. Можливі два підходи до розв'язування оберненої задачі. Перший — ітераційне розв'язування прямих задач до збігу одержуваної картини течії із заданою за умов проектування. Другий підхід ґрунтується на розв'язування рівнянь газодинаміки, у яких відомими є параметри потоку, а невідомими — присутні в рівняннях геометричні характеристики меж каналу.

## 2. Постановка проблеми

Доцільно розробити метод розрахунку течії, який дозволив би не тільки визначити її параметри в каналах з відомою геометрією (пряма задача), а й проектувати канали під задані аеродинамічні умови (обернена задача) за час, прийнятний для вирішення інженерних проблем проектування.

## 3. Основна частина

**3.1. Аналіз літературних джерел за темою дослідження.** В роботі [1] наведені постановка і метод розв'язування прямої задачі про течію в міжлопатковому каналі решітки турбомашини. В роботі [2] наведені постановка і метод розв'язування оберненої задачі проектування міжлопаткового каналу решітки турбомашини. В роботі [3] наведені постановка і метод розв'язування гібридної (змішаної) задачі проектування міжлопаткового каналу решітки турбомашини. Результати проектування міжлопаткових каналів решіток турбомашин і профілів їх лопаток під різні кути входу потоку проаналізовані в роботі [4]. В роботі [5] наведені постановка і метод розв'язування оберненої задачі проектування міжлопаткового каналу на довільній поверхні течії. В роботі [6] наводиться математична модель, що дає можливість визначити параметри потоку у вільному кільцевому каналі при заданому куті закрутки потоку на вході в канал. Новий метод розв'язування оберненої задачі розрахунку вісесиметричної течії ідеального газу у вільному осьовому кільцевому каналі розглянутий в роботі [7]. В роботі [8] запропоновано якісно новий метод, який в межах вісесиметричної моделі течії дозволяє визначити геометричні характеристики обичайки дифузора (гібридна задача). Метод дозволяє проводити паралельні обчислювання і враховує особливості процесу розв'язування аеродинамічних задач під час оптимального проектування каналів. В роботі [9] розглянута пряма задача розрахунку течії у вісерадіальному кільцевому каналі. Задача складається з незалежних задач розрахунку течії у будь-яких окремих перетинах каналу. Ці незалежні задачі можуть розв'язуватись як послідовно, одна за одною, так і одночасно. В роботі [10] наведені результати розрахункових досліджень кільцевого дифузора з прямолінійними стінками, які отримані за допомогою нового методу розрахунку течії в кільцевих каналах. Виконано порівняння результатів розрахункових досліджень з даними фізичного експерименту і розрахунками за допомогою CFD програми.

**3.2. Результати досліджень.** Передумовами для розробки перспективного методу розрахунку течії в кільцевих каналах стали у пригоді роботи [1, 2], в яких запропоновано метод розрахунку течії для розв'язування як прямої, так і оберненої задач в кільцевих решітках турбомашин на циліндричних поверхнях течії (поверхня течії  $S_1$ ). Надалі цей метод набув розвитку [5]: обернена та пряма задачі розділені на незалежні одна від одної окремі підзадачі, які можна розв'язувати в будь-якій послідовності або одночасно, що забезпечує можливість контролювати окремі ділянки лопатки, яка проектується, з точки зору міцності та технологічності, та дозволяє значно скоротити час проектування, а окремі підзадачі розв'язуються методами нелінійного програмування, які не вимагають зберігання істотних обсягів інформації.

Течія вважається сталою, адиабатичною, безвідривною та вісесиметричною, а робоче тіло стислим і нев'язким. Течія описується системою рівнянь, записаних у циліндровій системі координат, а саме: рівнянь збереження енергії, ізоентропійного процесу, нерозривності та трьох проекцій на координатні вісі рівняння кількості руху. Цей метод дозволяє розв'язувати пряму і обернену задачі на єдиній методологічній основі. Розрахунок виконується на меридіональній площині в окремих перерізах, які з достатньою густиною покривають канал. Пряма задача дозволяє за відомою геометрією каналу визначити параметри потоку, а обернена задача — за відомими аеродинамічними граничними умовами визначити геометрію і аеродинамічні характеристики каналу. Для оберненої задачі задаються розподіли вздовж вхідного (або вихідного) перерізу каналу: повного тиску, повного питомого об'єму, тангенційної складової швидкості, масової витрати, а також координати однієї з ліній течії та розподіл швидкості потоку вздовж неї. Особливість методу полягає в тому, що розрахунок течії здійснюється у циліндровій системі координат, а геометричні параметри каналу визначаються у повернутій ортогональній системі координат.

Результати розрахунків та їх порівняння з даними експериментального дослідження дифузорового каналу [10] свідчать про те, що новий метод дозволяє визначити параметри течії в каналі з точністю, необхідною для оцінювання його аеродинамічної ефективності.

#### Література

1. Субботович В. П. Задача расчета скорости на поверхности лопатки турбомашинны как задача оптимизации [Текст] / В. П. Субботович, А. Ю. Юдин // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — Харьков : НТУ «ХПИ». — 2004. — № 12. — С. 101–106.
2. Субботович В. П. Постановка и метод решения обратной задачи для определения формы межлопаточных каналов кольцевых решеток турбомашин [Текст] / В. П. Субботович, А. Ю. Юдин // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — Харьков : НТУ «ХПИ». — 2005. — № 29. — С. 49–56.
3. Субботович В. П. Постановка и метод решения гибридных задач расчета течения в решетках турбомашин [Текст] / В. П. Субботович, А. Ю. Юдин // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — Харьков : НТУ «ХПИ». — 2005. — № 6. — С. 44–48.
4. Субботович В. П. Результаты профилирования с помощью обратной задачи теории решеток турбомашин [Текст] / В. П. Субботович, А. Ю. Юдин, Фан Конг Там // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — Харьков : НТУ «ХПИ». — 2007. — № 3. — С. 31–35.
5. Субботович В. П. Обратная задача теории решеток на осесимметричной поверхности тока [Текст] / В. П. Субботович, А. Ю. Юдин, Фан Конг Там // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — Харьков : НТУ «ХПИ». — 2009. — № 3. — С. 56–61.
6. Субботович В. П. Определение параметров осесимметричного потока в торцевом сечении кольцевого канала [Текст] / В. П. Субботович, С. А. Темченко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — Харьков : НТУ «ХПИ». — 2008. — № 6. — С. 52–55.
7. Субботович В. П. Обратная задача для осевого кольцевого канала [Текст] / В. П. Субботович, С. А. Темченко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — Харьков : НТУ «ХПИ». — 2010. — № 3. — С. 56–60.
8. Субботович В. П. О методе проектирования наружной границы выходного диффузора газовой турбины [Текст] / В. П. Субботович, С. А. Темченко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — Харьков : НТУ «ХПИ». — 2010. — № 67. — С. 155–160.
9. Субботович В. П. Метод расчета течения в осерядиальных кольцевых каналах [Текст] / В. П. Субботович, А. Ю. Юдин, С. А. Темченко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — Харьков : НТУ «ХПИ». — 2011. — № 6. — С. 24–27.
10. Субботович В. П. Результаты тестирования метода расчета течения в кольцевых каналах [Текст] / В. П. Субботович, Ю. А. Юдин, А. Ю. Юдин, С. А. Темченко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — Харьков : НТУ «ХПИ». — 2011. — № 6. — С. 24–27.

#### МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ КАНАЛОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

**С. А. Темченко**

В статье описан новый метод, который позволяет рассчитывать осесимметричное течение в кольцевых каналах произвольной формы и проектировать их под заданные аэродинамические условия.

**Ключевые слова:** обратная задача, осесимметричное течение, поверхность тока.

*Сергей Александрович Темченко, младший научный сотрудник кафедры турбиностроения Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», тел.: (050) 915-25-19, e-mail: houms@inbox.ru.*

#### DESIGN METHOD OF FREE-FORM AXISYMMETRIC DUCTS

**S. Temchenko**

New method which allows to calculate the axisymmetric flow inside the free-form ring ducts and design them under given aerodynamic conditions is described.

**Keywords:** inverse problem, axisymmetric flow, the stream surface.

*Sergey Temchenko, junior researcher of Turbine Department, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: (050) 915-25-19, e-mail: houms@inbox.ru.*